

TUSAŞ GENÇ MÜHENDİSLER SEMİNERİ 2019



**TÜRKHAVACILIK
UZAYSANAYİİ**



İçindekiler

SAYFA

ATAK Harness (Kablo)Montaj Rotalama Artırılmış Gerçeklik Projesi	7
ATAK Helikopteri Montaj Hattında Zaman ve Maliyet Kayıplarının Azaltılması	9
Dalgalı İhtiyaçların Sisteme Yansıtılması ve En Uygun Üretim Parti Büyüklüğünün Tespiti	13
Depo Envanter Kontrolü İçin Nesne Kategorizasyonu ve 3B Haritalandırma Yapabilen İnsansız Hava Aracı Tasarımı	17
Depo Kurulumu ve Revizyonu Araştırması	19
Elektrikli Hava Araçları İçin Elektrik Güç Üretim ve Dağıtım Sistemi Modellemesi ve Benzetimi	21
Hava Taşıt Kanatlarında Topoloji ve Boyut Optimizasyonu ile Ağırlık Azaltımı	23
Havacılık Sektöründe Kullanılan Alüminyum Malzemeleri Korozyona Karşı Korumak İçin Uygulanan Yüzey İşlemlerinin Yorulma Ömrüne Etkilerinin Araştırılması	26
Hibrit Dişli Çark Tasarımı ve Prototip Üretimi	28
İki Boyutlu Aktif/Pasif Akış Kontrolü	31
İniş Takımı Oleo Pnömatik Şok Emicinin Farklı Orifis Tasarımlarındaki Performans Analizi	33
Kanat Hücum Kenarı Yapısının Kuş Çarpması Durumunda Davranışlarının İncelenmesi	35
Kargo Taşıma İçin İnsansız Hava Aracı Tasarımı	38
Kompozit Kanat Tasarım Otomasyonu ve Optimizasyonu Programı Geliştirilmesi	41
Küresel Konumlandırma Sistemi (GPS) Olmadan Çoklu Görüntü Birleştirme ile Hava Aracı Konumlandırma Küresel Konumlandırma Sistemi (GPS) Olmadan Çoklu Görüntü Birleştirme ile Hava Aracı Konumlandırma Sıcak Şekillendirmeye Uygun Kalıp Malzemesi Seçimi	44
Montaj Hattı Operasyonlarının Paralel Çok İşçili Dengelenmesi	46
Sıcak Şekillendirmeye Uygun Kalıp Malzemesi Seçimi Transonik Hızda Çok Elemanlı Kesit En İyileştirmesi	49
Termal Kızılötesi Sinyal Azaltmaya Yönelik Malzeme Tasarımı, Sentez ve Karakterizasyonu	51
Termoplastik Kompozit Malzemelerin Uçak Yapısalarda Kullanımının Araştırılması	54
Transonik Hızda Çok Elemanlı Kesit En İyileştirmesi	56
TUSAŞ Section 19 Montaj Hattı Kapasite Planlama ve Dengeleme Projesi	59
T/C 551 Isıl İşlem Fırınınd Grup Çizelgeleme	62
Uçak Pistinde Gezen Robotla Yabancı Madde Tespiti	64

Değerli Paydaşlarımız,

Savunma sanayisinde geleceğin harekât ortamında kullanılacak ürünler için teknolojik olarak hazır olma ve rekabet üstünlüğü sağlayacak yeni teknolojik yetkinlikler kazanabilme hedeflerimiz doğrultusunda etkin ve sürdürülebilir Ar-Ge uygulamaları ile çalışma modellerini çeşitlendirerek hayata geçirmeye özen gösteriyoruz.

Havacılık sektörünün en iyi 10 firma arasında olma ve 10 milyar dolar ciroya ulaşma hedeflerimizin yegâne yolunun nitelikli insan kaynağı yetiştirmek olduğunun farkındayız. Gözü yükseklerde olan 10.000 nitelikli mühendis ile bu hedeflerimize adım adım ulaşacağımıza inanıyoruz.

Sadece Ar-Ge yapan değil, Ar-Ge yaptıran, ülkemizdeki havacılık ve uzay ekosistemine yön veren bir şirket olarak teknoloji kazanımında bilimsel ve teknolojik gelişmelerin filizlendiği, yeni fikirlerin akademik özgürlükle çalışılabildiği üniversitelerle pek çok farklı yol ile işbirliği yapıyoruz. En etkin Üniversite - Sanayi İşbirliği mekanizmalarımızdan biri de, lisans son sınıf öğrencileri ile gerçekleştirdiğimiz bitirme projeleri uygulamalarımızdır.

Şirketimizin Teknoloji Yol Haritası Kazanım Planı ile ilişkili araştırma konularında, değerli akademik ve sanayi alanında rehberliğinde lisans bitirme projelerini yürütüyoruz. Türk Havacılık ve Uzay Sanayii uzmanlarının sanayi danışmanı olarak görev aldığı bu çalışmalar ile TUSAŞ'ın stratejik ihtiyaçları doğrultusunda insan kaynağı yetiştirilmesi, geleceğin mühendislerinin sektöre katkı sağlayacak ve yeteneklerinin gelişiminde katkıda bulunulması amaçlanıyor. Özellikle üniversitedeki araştırmaların sanayinin ihtiyaçları doğrultusunda yönlendirilmesi hususunun titizlikle ele alınması bitirme projelerinden elde edilen kazanımların artırılmasını sağlıyor. Bu kapsamda yürütülecek projelerde, şirketimizde yaşanan bir üretim ya da tasarım sorununun çözülmesinin hedeflenmesi veya TUSAŞ'ta uygulama potansiyeli olan bir ürün, yöntem veya sürecin geliştirilmesi ya da iyileştirilmesine katkı sağlanması bekleniyor. TUSAŞ adına öğrencilere rehberlik eden sanayi danışmanı, şirketimize sağlanacak faydanın artırılması hedefi ile ilgili proje faaliyetlerini yönlendirirken, üniversitedeki öğretim üyeleri ise ilgili projenin bilimsel prensiplere ve tekniğin bilinen durumuna uygun olarak gerçekleştirilmesi hususunda akademik danışman olarak katkı sağlıyor. Böylece iş hayatına, TUSAŞ problemlerine çözüm geliştirerek hazırlanan öğrencilerimiz, her geçen gün bilgi ve beceri kazanarak günümüz iş hayatı için elzem olan birlikte çalışma kültürünü deneyimleyebiliyor.

Güçlü bir şirket olmanın yegâne yolunun güçlü bir Ar-Ge ve inovasyon alt yapısı ve kültürüyle olacağının bilincindeyiz. Ülkemizdeki tüm üniversiteler ile güvene dayalı, uzun soluklu, ortak hedefler doğrultusunda ve kazan kazan prensibi ile iş birliklerimizi değerli katkı ve desteklerinizle daha da güçlendirmek istiyoruz. Özgün ürünlere sahip ve küresel rekabet gücüne ulaşmış "dünya markası havacılık ve uzay şirketi" olma yolunda emin adımlarla ilerliyoruz.

Sevgi ve saygılarımla,

Prof. Dr. Temel KOTİL
TUSAŞ Genel Müdürü

	TUSAŞ Genç Mühendisler Semineri 2019 Programı 13 Haziran 2019 TUSAŞ Akıncı Tesisleri Saim Dilek Konferans Salonu	
Saat	Oturum İçeriği	Görevli
08:30-09:00	Kayıt	Tüm Katılımcılar
09:15-09:30	Açılış Konuşması	Ayşe TEMİZ TUSAŞ Teknoloji Yönetimi Müdürü
09:30-09:45	TUSAŞ İşe Alım Süreci	TUSAŞ
09:45-11:00	1. Oturum ATAK Helikopteri Montaj Hattında Zaman ve Maliyet Kayıplarının Azaltılması Başkent Üniversitesi / Endüstri Mühendisliği Akademik Danışman: Prof. Dr. Berna DENGİZ / Dr. Öğr. Üyesi Burçin ÇAKIR ERDENER Sanayi Danışmanı: Ozan ERDEM Dalgalı İhtiyaçların Sisteme A2:C17 ve En Uygun Üretim Parti Büyüklüğünün Tespiti Başkent Üniversitesi / Endüstri Mühendisliği Akademik Danışman: Doç. Dr. Y. Tansel İÇ / Dr. Öğr. Üyesi Esra DİNLER Sanayi Danışmanı: Tuğçe YÜCEL Depo Kurulumu ve Revizyonu Araştırması Gazi Üniversitesi / Endüstri Mühendisliği Akademik Danışman: Dr. Öğr. Üyesi F. Yeşim KALENDER A2:C17 Sanayi Danışmanı: Emre Can TELLİEL T/C 551 Isıl İşlem Fırınında Grup Çizelgeleme Gazi Üniversitesi / Endüstri Mühendisliği Akademik Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Murat ARIKAN Sanayi Danışmanı: İlnur AKSU TUSAŞ Section 19 Montaj Hattı Kapasite Planlama ve Dengeleme Projesi TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi / Endüstri Mühendisliği Akademik Danışman: Doç. Dr. Kadir ERTÖĞRAL Sanayi Danışmanı: Ecem CEPHE / Gizem DALCAN	Kevser Sinem ŞİMŞEK TÜRELİ TUSAŞ Teknoloji Yönetimi Müdürlüğü Bilimsel ve Teknolojik İşbirlikleri
11:00-11:20	Çay / Kahve Arası	Tüm Katılımcılar
11:20-12:45	2. Oturum ATAK Harness (Kablo) Montaj Rotalama Artırılmış Gerçeklik Projesi Hacettepe Üniversitesi / Bilgisayar Mühendisliği Bölümü Akademik Danışman: Doç. Dr. Harun ARTUNER Sanayi Danışmanı: Mehmet Evren COŞKUN Küresel Konumlandırma Sistemi (GPS) Olmadan Çoklu Görüntü Birleştirme ile Hava Aracı Konumlandırma Gazi Üniversitesi / Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Akademik Danışman: Prof. Dr. Özgül SALOR-DURNA Sanayi Danışmanı: Yasemin DALGIRAN Kargo Taşıma İçin İnsansız Hava Aracı Tasarımı Eskişehir Osmangazi Üniversitesi / Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Akademik Danışman: Prof. Dr. Hakan ÇEVİKALP Sanayi Danışmanı: Ersin GÖNÜL Elektrikli Hava Araçları İçin Elektrik Güç Üretim ve Dağıtım Sistemi Modellemesi ve Benzetimi Yıldırım Beyazıt Üniversitesi / Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Akademik Danışman: Doç. Dr. Sinan KIVRAK Sanayi Danışmanları: İstemihan GÖKDAĞ Depo Envanter Kontrolü İçin Nesne Kategorizasyonu ve 3B Haritalandırma Yapabilen İnsansız Hava Aracı Tasarımı Yıldız Teknik Üniversitesi / Mekatronik Mühendisliği Akademik Danışman: Doç. Dr. Aydın YEŞİLDİREK Sanayi Danışmanı: Enes İSMAİLOĞLU Montaj Hattı Operasyonlarının Paralel Çok İşçili Dengelemesi Konya Teknik Üniversitesi / Endüstri Mühendisliği Akademik Danışman: Doç. Dr. İsmail KARAOĞLAN Sanayi Danışmanı: Ezgi İÇİK	Onur JANE TUSAŞ Teknoloji Yönetimi Müdürlüğü Bilimsel ve Teknolojik İşbirlikleri
11:00-11:20	Çay / Kahve Arası	Tüm Katılımcılar

Saat	Oturum İeriği	Görevli
11:20-12:45	2. Oturum ATAK Harness (Kablo) Montaj Rotalama Artırılmış Gerçeklik Projesi Hacettepe Üniversitesi / Bilgisayar Mühendisliği Bölümü Akademik Danışman: Doç. Dr. Harun ARTUNER Sanayi Danışmanı: Mehmet Evren COŞKUN Küresel Konumlandırma Sistemi (GPS) Olmadan Çoklu Görüntü Birleştirme ile Hava Aracı Konumlandırma Gazi Üniversitesi / Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Akademik Danışman: Prof. Dr. Özgül SALOR-DURNA Sanayi Danışmanı: Yasemin DALGIRAN Kargo Taşıma İçin İnsansız Hava Aracı Tasarımı Eskişehir Osmangazi Üniversitesi / Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Akademik Danışman: Prof. Dr. Hakan ÇEVİKALP Sanayi Danışmanı: Ersin GÖNÜL Elektrikli Hava Araçları için Elektrik Güç Üretim ve Dağıtım Sistemi Modellemesi ve Benzetimi Yıldırım Beyazıt Üniversitesi / Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Akademik Danışman: Doç. Dr. Sinan KIVRAK Sanayi Danışmanları: İstemihan GÖKDAĞ Depo Envanter Kontrolü İçin Nesne Kategorizasyonu ve 3B Haritalandırma Yapabilen İnsansız Hava Aracı Tasarımı Yıldız Teknik Üniversitesi / Mekatronik Mühendisliği Akademik Danışman: Doç. Dr. Aydın YEŞİLDİREK Sanayi Danışmanı: Enes İSMAİLOĞLU Montaj Hattı Operasyonlarının Paralel Çok İşçili Dengelenmesi Konya Teknik Üniversitesi / Endüstri Mühendisliği Akademik Danışman: Doç. Dr. İsmail KARAOĞLAN	Onur JANE TUSAŞ Teknoloji Yönetimi Müdürlüğü Bilimsel ve Teknolojik İşbirlikleri
12:45-13:30	Öğle Yemeği	Tüm Katılımcılar
13:30-14:45	3. Oturum İki Boyutlu Aktif / Pasif Akış Kontrolü İstanbul Teknik Üniversitesi / Makine Mühendisliği Akademik Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Abdussamet SUBAŞI / Dr. Öğr. Üyesi Sertaç ÇADIRCI Sanayi Danışmanı: Erdem AYAN / Murat CANİBEK Kompozit Kanat Tasarım Otomasyonu ve Optimizasyonu Programı Geliştirilmesi Yıldırım Beyazıt Üniversitesi / Makine Mühendisliği Akademik Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Fatih GÖNCÜ Sanayi Danışmanı: Sedat ÖZÖTÜRK Transonik Hızda Çok Elemanlı Kesit En İyileştirmesi Uludağ Üniversitesi / Makine Mühendisliği Akademik Danışman: Prof. Dr. İrfan KARAGÖZ Sanayi Danışmanı: Erdem AYAN / Sercan ERTEM Hibrit Dişli Çark Tasarımı ve Prototip Üretimi Uludağ Üniversitesi / Makine Mühendisliği Akademik Danışman: Doç. Dr. Fatih KARPAT Sanayi Danışmanı: Mehmet Ali YAVUZ Hava Taşıt Kanatlarında Topoloji ve Boyut Optimizasyonu ile Ağırlık Azaltımı Uludağ Üniversitesi / Makine Mühendisliği Akademik Danışman: Prof. Dr. Necmettin KAYA Sanayi Danışmanı: Erhan ÇİFTÇİ İniş Takımı Oleo-pnömatik Şok Emicisinin Farklı Orifis Tasarımlarındaki Performans Analizi İstanbul Teknik Üniversitesi / Makine Mühendisliği Akademik Danışman: Doç. Dr. Mesut KIRCA Sanayi Danışmanı: Ahmet TAŞTAN / Berke Cem KOCAAYAN / Özkan OKAN	Merve AYAS TUSAŞ Teknoloji Yönetimi Müdürlüğü Bilimsel ve Teknolojik İşbirlikleri
15:00-16:15	4. Oturum Havacılık Sektöründe Kullanılan Alüminyum Malzemeleri Korozyona Karşı Korumak İçin Uygulanan Yüzey İşlemlerinin Yorulma Ömrüne Etkilerinin Araştırılması Bursa Teknik Üniversitesi / Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Akademik Danışman: Prof. Dr. Deniz UZUNSOY Sanayi Danışmanı: Bahar Zeynep TUNA Termal Kızılötesi Sinyal Azaltmaya Yönelik Malzeme Tasarımı, Sentez ve Karakterizasyonu İstanbul Teknik Üniversitesi / Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Akademik Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Nuri SOLAK / Prof. Dr. Mustafa Kamil ÜRGEN Sanayi Danışmanı: Kağan ÇAKIR Termoplastik Kompozit Malzemelerin Uçak Yapısalllarında Kullanımının Araştırılması Yıldırım Beyazıt Üniversitesi / Makine Mühendisliği Akademik Danışman: Prof. Dr. Fahrettin ÖZTÜRK Sanayi Danışmanı: Deniz ÖZEL Sıcak Şekillendirmeye Uygun Kalıp Malzemesi Seçimi Yıldız Teknik Üniversitesi / Makine Mühendisliği Akademik Danışman: Prof. Dr. Aysegül AKDOĞAN EKER Sanayi Danışmanı: Hakan AYDIN Kanat Hücum Kenarının Kuş Çarpması Durumunda Davranışlarının İncelenmesi İstanbul Teknik Üniversitesi / Uzay Mühendisliği Akademik Danışman: Prof. Dr. Zahir MECİTOĞLU Sanayi Danışmanı: Tanyel ÇAKMAK / Burak AY Uçak Pistinde Gezen Robotla Yabancı Madde Tespiti Ankara Üniversitesi / Bilgisayar Mühendisliği Akademik Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Hacer YALIM KELEŞ Sanayi Danışmanı: Murat KARADERİLİ	Hanifi Eray KORKMAZ TUSAŞ Teknoloji Yönetimi Müdürlüğü Bilimsel ve Teknolojik İşbirlikleri
16:15-17:00	Kapanış Konuşması, Katılımcılardan Önerilerin Alınması ve Toplu Fotoğraf	Tüm Katılımcılar

ATAK Harness (Kablo)Montaj Rotalama Artırılmış Gerçeklik Projesi

Hacettepe Üniversitesi,
Bilgisayar Mühendisliği

Akademik Danışman:

Doç. Dr. Harun ARTUNER

Sanayi Danışmanı:

Mehmet Evren COŞKUN

Lisans Öğrencileri :

Dilşad ERGÜN, Hüseyin KAYAYURT, Onur KÜÇÜKKEÇECİ

A. Problem Tanımı

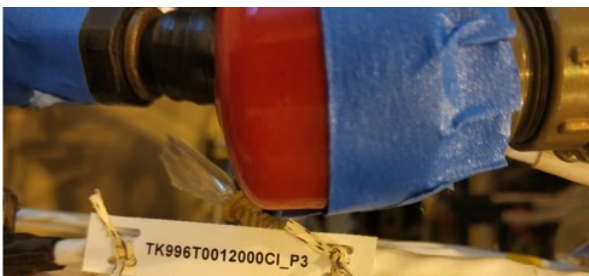
Helikopter montaj alanında yapılan kablo montajı ve rotalama işlemi, mevcut durumda kâğıt üzerinde, sonuçlar gözle eşleştirilerek elle yapılmaktadır. Bu sebeple tanıma işlemi insan faktörü odaklı ve hata yüzdesi yüksek bir şekilde gerçekleşmektedir. İş sağlığı bağlamında bakıldığında, çalışanların küçük boyutlardaki yazıları ve binlerce kablo arasındaki rotalamaları düzgünce tahlil edebilmeleri için elverişli bir ortam bulunmamaktadır. Bu da kullanılan zamanı arttırmakta ve çalışan verimliliğini düşürmektedir.

Bu probleme çözüm olarak planlanan bu proje, artırılmış gerçeklik ile insan faktörünün etkisini azaltıp zamandan tasarruf sağlaması amaçlanmaktadır. Montaj alanında gözle yapılan kaba tanıma işleminin tablet yardımı ile yapılıp, kâğıt üzerindeki aramanın sistem üzerinde gerçekleştirilmesi projede amaçlanmaktadır. Tanıma işleminden sonra helikopter üzerinde rotalama ve kelepçeleme işlemleri artırılmış gerçeklik uygulaması olarak sunulacaktır.

B. Gerçekleştirilen Araştırma Faaliyetleri ve Uygulanan Yöntem

Projede helikopterin CAD modelleri kullanılarak Harness rota bilgilerinin anlık olarak gösterilmesi, rota bilgilerinin gösterilmesinde "Artırılmış Gerçeklik" teknolojisinin kullanılması ve donanım olarak öncelikle tablet kullanılması, daha sonra uygulamanın uygun giyilebilir ekipmanlara (holografik gözlük, akıllı gözlük) yaygınlaştırılması hedeflenmektedir. Projenin önemli bir noktası olan gereksinim analizi süreci, araştırma faaliyetlerinin temelini oluşturmaktadır. Bu süreçte fabrika içinden kesitler alınıp gerekli tasarımlar yapılmıştır.

Örnek Gereksinim Analizi Girdileri:



Şekil 1. Kablo Etiketlerine İlişkin Örnek Bir Görüntü

C. Araştırma Sonuçları ve Çıktılar

Proje kapsamında gerçekleştirilen ürün temelde kablo montajı ve rotalama atölyesinde çalışan teknisyenlere kolaylık sunmayı amaçlamaktadır. Öncelikle teknisyenlerin bir kablo üzerinde fiziksel çaba kullanarak okumaya çalıştığı kablo kodunu Şekil 1'deki örnekte olduğu gibi görüntü işleme, obje karakter tanıma işlemleri ile özel bir çaba gerektirmeden tanıyarak hem zaman konusunda kazanç sağlayacak hem de yanılğı payını azaltacaktır. Daha sonra mevcut sistemde gözle tanınan kabloların sayfalarca kâğıt üzerinde karşılığının aranması işlemi bir veritabanı sorgusuna indirgenerek en büyük zaman kazancını getirecektir. Yeniden bu işlemde de yanılğı payının düşmesi kaçınılmazdır. Farklı bir bakış açısından değerlendirilecek olursa, kablolama işleminin şemasını oluşturmak için kullanılan kağıtlara ihtiyaç kalmayacak ve bu sayede hem çevresel hem ekonomik açıdan yarar sağlanacaktır. Projenin ikinci aşaması olan artırılmış gerçeklik fazında ise kendi gözlemlerle de görülen dar alanda çalışma problemlerine çözüm bulmak hedeflenmektedir. Helikopterin kablolama sistemini inşa etmek için teknisyenin helikopterin içerisinde oldukça dar bir çevrede ilgili kabloların hedeflerini eliyle bulması gerekmektedir. Artırılmış gerçeklik teknolojisi ile teknisyen için oldukça kullanışlı ve yük oluşturmeyen bir araç olan artırılmış gerçeklik yardımı ile hedefleri bulması oldukça kolay bir hale gelecektir. Tablet yardımı ile yalnızca ilgili kabloyu ve ilgili hedefini net olarak saptayabilecektir.

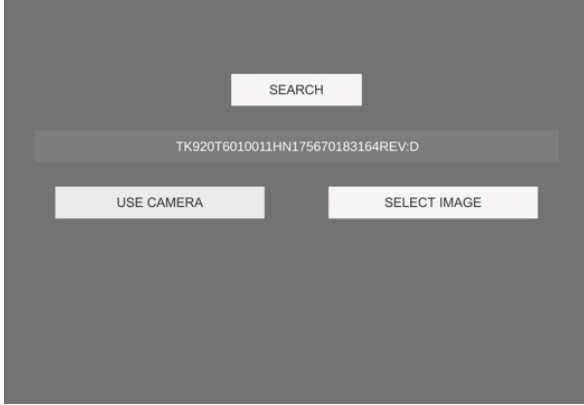
Proje, firma ve ulusal düzeyde yenilik unsurları içermektedir. Kâğıt üzerinde gözle yapılan bir arama ile karşılaştırıldığında bu ürün kıyaslanamayacak bir hız üstünlüğü sağlamaktadır. Özellikle tecrübe seviyesi az olan çalışanlar için problem olan mevcut durum süreci çözmesi zor bir hale getirmektedir. Ürünün sağlayacağı yenilik ile bu problemin çözüme kavuşturulması hedeflenmektedir. Proje çıktısı olan ürün hâli hazırda kullanılmakta olan yöntemle göre birçok üstünlük içermektedir. En temel üstünlüğü zamandan sağladığı tasarruftur. Bu zaman tasarrufu hizmet edeceği kuruluşla ekonomik kazanç olarak geri dönecektir ve dolayısıyla sanayiye önemli bir katkı sağlayacaktır.



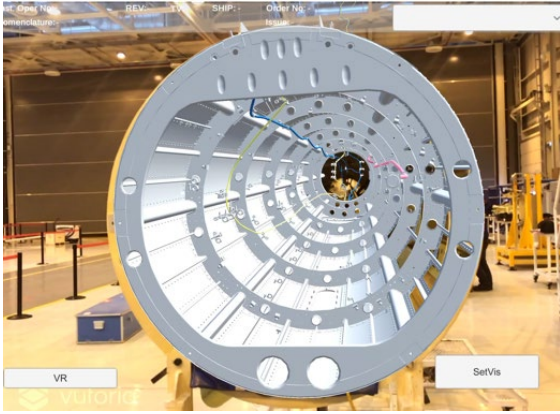
Projemizin Çıktıları



Şekil 3. Gerçekleştirilen Yazılımın Örnek Sonuç Ekranı



Şekil 2. Kablo Etiketinin Tablet Üzerindeki Görüntüsü



Şekil 4. Projenin Artırılmış Gerçeklik Ekran Görüntüsü

D.Proje Ekibinin Kazanımları ve TUSAŞ'a Olası Katkısı

Projenin sonucunda ekip, Unity ortamında proje geliştirme tecrübesi kazanmış ve Vuforia, Tesseract gibi kütüphaneleri kullanarak farklı kütüphanelerle çalışmış, bunların bir arada çalışması üzerine birikim edinilmiştir. Sanayinin büyüklerinden olan TUSAŞ ile çalışma ortamı ve çalışanların tecrübesinden faydalanma fırsatı edinilmiştir. Bu projeye birlikte kablolama alanında ortaya çıkabilecek hata oranı oldukça azalmıştır. Alanda çalışanların zamandan tasarruf etmesi sağlanarak kısa

sürede daha verimli sonuçlar elde etmesi sağlanmıştır. Projenin AR-VR kısmı, kullanıcıların rota hakkında görsel yardımcısı olmuştur. Proje başarı ile tamamlandığında savunma sanayisine önemli bir katkı sağlayacak ve benzer şirketler için kullanışlı olacaktır.

E.Öneriler, Alınan Dersler ve Gelecekteki Çalışmalar

Projenin bir ileri aşaması olarak kullanım kolaylığı sağlaması açısından tablet yerine artırılmış gerçeklik gözlükleri üzerinde çalışılabilir. Bu sayede kullanıcının tableti tutmak, görüntüyü alırken düzgün açı sağlamak veya çıktıyı görüntülerken tek bir noktaya odaklanmak gibi konularla ilgilenmesi gerekmeyecektir. Uygulama, cross-platform olarak yazıldığından piyasadaki çoğu AR gözlükle uyum sağlayabilecektir. İlgili konuda proje çalışanlarının yüksek lisans konuları şekillendirilmektedir.

Kablo etiketlerinin yanı sıra kullanıcılar tarafından problem yaşanan konu, tekil kabloların okunması olarak tespit edilmiştir. Tekil kablolar hem karakter tipi, hem de spiral yapısı nedeniyle karakter tanıma kısmında istenen performansı verememiştir. Ayrıca kabloları uygulamayı kullanarak tanımaya çalışırken kullanıcıların kabloları oldukça düzgün tutması gerekmektedir. Bu da kullanım kolaylığını olumsuz etkilemektedir. Gereksinim analizi sürecinde kabloların markalanması incelendiğinde, akademik danışman Doç. Dr. Harun ARTUNER, kablolar üzerine sayılar ve harfler yerine bir barkod sistemi markalanmasının daha etkili olacağını öne sürmüştür. Bu sayede kablonun duruşu, karakterlerin tipi gibi konular ortadan kalkacaktır. Bunun için kabloların halkalı barkod şeklinde markalanması gerekmektedir. Yapılan araştırmalar sonucu bu konuda bir patent başvurusu yapılabileceği değerlendirilmiştir. TUSAŞ ekibiyle beraber patent başvurusu sürecine devam edilmektedir.



ATAK Helikopteri Montaj Hattında Zaman ve Maliyet Kayıplarının Azaltılması

Başkent Üniversitesi

Endüstri Mühendisliği

Akademik Danışman:

Prof. Dr. Berna DENGİZ

Dr. Öğr. Üyesi Burçin ÇAKIR ERDENER

Sanayi Danışmanı

Ozan ERDEM, Ezgi İCİK

Lisans Öğrencileri

Burçak ÇETİNDEDE, Hande Nur ATAĞ, Orkide KARABAŞ, İlkın Beste AYTEN

A.Problem Tanımı

Problem tanımı, bağlayıcı boylarının belirsizliğinden kaynaklı zaman ve maliyet kaybıdır. Problem, iki aşamadan oluşmaktadır:

Aşama 1: Atak helikopteri projesi montaj hattı operasyonlarında kullanılan bağlayıcı boylarının belirlenmesidir.

Aşama 2: En iyi kule sayısı ve montaj hattındaki yerlerinin belirlenmesi, kule içerisinde yer alması gereken bağlayıcıların türlerinin ve miktarlarının belirlenmesidir.

1. İstasyon = 55
2. İstasyon = 218
3. İstasyon = 34
4. İstasyon = 68
5. İstasyon = 105
6. İstasyon = 43

B.Gerçekleştirilen Araştırma Faaliyetleri ve Uygulanan Yöntem

Proje kapsamında çeşitli gözlem ve araştırmalar yapılarak sistem analizi tamamlanmıştır. Gözlem sürecinde genel haliyle montaj hattı, istasyonlar, operasyon kartları, stok alanları incelenmiştir. Bunların yanında arşivler ve ERP sistemi detaylı olarak incelenmiştir.

Öncelikle montaj hattında sürecin nasıl ilerlediğine ilişkin bilgiler edinilmiştir. Genel haliyle bir tesis planı çıkarılmıştır. Tesis planında 6 istasyon ve 1 stok alanı vardır. Montaj hattına gelen helikopter gövdesinin 1. istasyondan itibaren izlediği rotalar incelenmiştir. 1. istasyonda kapakları sökölerek operasyonlar için hazır hale getirilen helikopter gövdesinin, sırasıyla 2., 3., 4., 5. ve 6. istasyonlarda yapısal ve elektriksel montaj işlemleri tamamlanarak nihai ürün halini alması sağlanmaktadır. Her istasyona tanımlı operasyonlar bulunmaktadır. Proje ile ilgili olarak özellikle perçinleme işlemi yapılan operasyonlar incelenmiştir. Her istasyonun perçin kullanma oranları farklılık göstermektedir. Bu gözlemlere dayanarak perçinleme işleminin en çok 1. istasyonda yapıldığı, 2. istasyonda hiç yapılmadığı ve diğer 3., 4., 5., ve 6. istasyonlarda da çok az miktarda yapıldığı belirlenmiştir. Yapılan operasyonlar, operasyon kartlarında anlatılmaktadır. Bir operasyon kartı birçok adımdan oluşmaktadır. Bu adımlarda tanımlı olan iş, bu işi yaparken kullanılan malzemeler ve işin nasıl yapılacağı anlatılmaktadır. Bir helikopter için 550 adet operasyon kartı bulunmaktadır. İstasyonlara sayısal olarak operasyon kartlarının dağılımı aşağıda belirtilmiştir.

Sistem analizi sırasında toplam 550 operasyon kartı incelenmiştir. Operasyon kartlarında perçinleme işleminde kullanılacak perçin kodu, türü ve adedi yazmasına rağmen perçin boyu bilgisine yer verilmediği görülmüştür.

Tüm istasyonlar için perçinleme işlemi bulunan operasyon kartları çıkartılmıştır. Aynı zamanda perçin kullanılma oranı en yüksek olan 1. istasyon için perçinleme işlemi bulunan operasyon kartlarının toplamda kaç adımdan oluştuğu ve bu adımların kaçında perçin kullanıldığı kayıt edilmiştir. Diğer istasyonlar için perçin bulunan operasyon kartları da incelenmiş, fakat perçinleme işlemi çok az olduğundan bu istasyonlar için bir adım oranı tutulmamıştır.

Montaj hattında perçinlerin stoklandığı 1 adet kule bulunmaktadır. Mevcut durumda kulede, küçük çekmecelerde her boyda her çeşit perçin depolanmaktadır. 1. istasyonun diğer istasyonlara göre perçin kullanma oranının fazla olmasından kaynaklı kulenin 1. istasyona daha yakında olduğu görülmektedir. Kule, teknisyenin ihtiyaç belirtmesi doğrultusunda doldurulmaktadır. Bunun için belirli bir görevli atanmamıştır.

Teknisyenler operasyonlara başlamadan önce kuleye giderek ilgili perçinin farklı boylarını bulmalarının da zaman kaybına neden olduğu gözlemlenmiştir. Hatta kulede yer alan ilgili çekmecenin boş olması durumunda depoya giderek kendisi temin etmektedir. Problemin çözümünde yer alan en iyi kule sayısını belirleme ve kule çekmecelerini kullanılan perçinlere göre düzenlemek için de operatörlerin kule-istasyon ve kule-depo arasında harcadığı zamanlar ölçülmektedir.



Yapılan gözlemler sonucunda, adımlarda kullanılacak olan farklı perçin boylarını operasyon kartlarına yazmak ve bu boylardan da hangisinin çoğunlukla kullanıldığı bilgisini doğrulayabilmek için doğrulama modülü geliştirilmiştir. Doğrulama Modülü sonucunda operasyon kartlarına perçin boyları yazılacak ve yüzde olarak daha çok kullanılan perçin boyu işaretlenecektir. Gelecekteki üretim dönemlerinde operasyon kartlarına yazılan perçin boylarından farklı bir değer kullanılması gereken durumlar için ise Revize Modülü geliştirilmiştir. Revize Modülü'nde operatör operasyon kartlarında olmayan bir değerle karşılaştığında Revize Kutusu'na giderek buradan perçini temin edecektir. Aynı zamanda Revize Kutusu'na gidildiği durumlarda kullanılan boylar kayıt altına alınacaktır. Kullanılan yeni değer yüzde olarak daha fazla olduğunda operasyon kartı güncellenecektir.

ii. En İyi Kule Sayısı ve Yerinin Belirlenmesi

En iyi kule sayısı ve yerinin seçimi için P-medyan Modeli (Drezner Zvi, 2003) çalışmasındaki metoda benzer bir yaklaşım kullanılmıştır. P-Medyan modeli, bir şebekede yer alan n adet düğüm kullanılarak p adet tesisin yerini belirlemek için kullanılmaktadır. Talep noktalarını talep miktarlarına göre ağırlıklandırır ve modelde ise talep noktaları ile tesis arasındaki toplam ağırlıklandırılmış mesafeyi en küçükleyecek şekilde tesis yerlerini belirlemektedir. Yeterli kule sayısının, konumunun ve kuleye atanacak istasyonların belirlenebilmesi için P-medyan modelinden faydalanılmış ve elde edilen verilerle modelleme yapılmıştır.

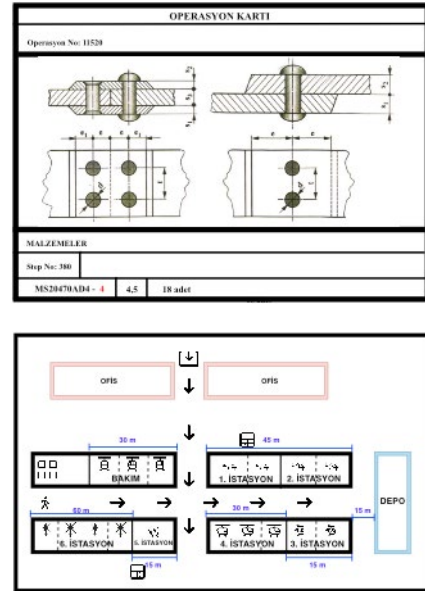
iii. Kule İçi Stok Politikasının Belirlenmesi

Açılacak 2 kulenin çekmecelerinin nasıl düzenlenmesi gerektiği ile ilgili problem aşağıdaki 3 aşamada ele alınmıştır:

1. Her perçin türünün kaç adet çekmecede stoklanacağını hesaplanması,
2. Ergonomik faktörler dikkate alınarak, görüş açısı ve kol hareketleri açısından en uygun konumlandırma ve
3. Kolay bulunabilmeye uygun yerleşim düzeni.

C.Araştırma Sonuçları ve Çıktıları

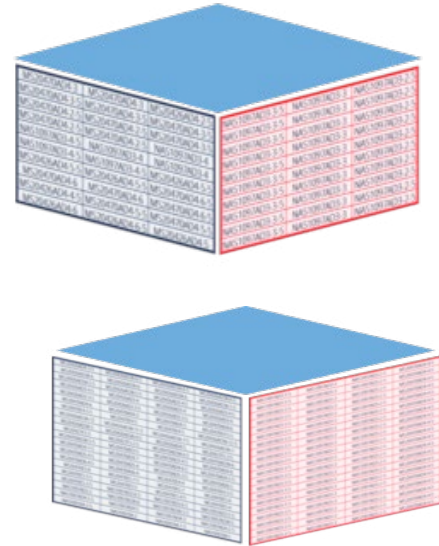
Yapılan literatür çalışmaları ve elde edilen veriler sonucunda problemin ilk aşaması olan operasyonlarda kullanılan bağlayıcı boylarının belirlenmesi ve operasyon kartlarına yazılması konusunda çözüm yaklaşımı olarak "Doğrulama Modülü" ve "Revize Modülü" sistem önerisi geliştirilmiştir. Bu modüller sayesinde perçin boyları Şekil 1'deki operasyon kartlarına yazılmıştır.



Şekil 1. Operasyon Kartları

İkinci aşama olan en iyi kule sayısının ve yerlerinin belirlenmesi P-Medyan problemi ile modellenerek en iyi çözüme ulaşılmıştır.

Aynı zamanda kule içi stok düzenlenmesi konusunda ise perçin kullanım oranlarına göre çekmece sayısı belirlenip ergonomik faktörleri de dikkate alan çözüm önerileri sunulmuştur. Belirlenen stratejiler doğrultusunda kulenin düzenlenmiş hali Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Kule

D.Proje Ekibinin Kazanımları ve TUSAŞ'a Olası Katkısı

Zaman Kazanımları

Atak helikopteri montaj hattı operasyonlarında kullanılan bağlayıcı boylarının belirlenmesi ve operasyon kartlarına yazılması neticesinde operatörlerin bağlayıcı temini için harcadıkları süre ortadan kalkacaktır. Bu zamana kadar yapılan iş etüdü ve zaman etüdü çalışmalarında işlenmesi zor olan bir perçinin işlem süresi için harcanan süre Şekil 3'te görülmektedir.



Şekil 3. İşlenmesi Zor Olan Bir Parçada Perçinleme İşlemi

- Perçinleme işlemi için toplam harcanan süre 148 saniye
- 1 helikopter için işlenmesi zor olan perçin kullanılan adım sayısı 73 adım
- $148 * 73 = 10804$ sn/helikopter = 3,001 saat/helikopter

Bu durumda bir helikopter üretimi için 3,001 saat işlenmesi zor perçinleme işlemi zamanı harcanmaktadır. Perçin boylarının belirlenmesiyle birlikte kullanılması gereken perçin boyuna karar verme ve temin etme için yapılan iş adımı ortadan kaldırılmıştır.

- Kullanılması gereken perçin boyuna karar verme ve temin süresi 123 saniye
- 1 helikopter için işlenmesi zor olan perçin kullanılan adım sayısı 73 adım
- $123 * 73 = 8979$ sn/helikopter = 2,49 saat/helikopter
- Helikopter başına 2,49 saat zaman tasarrufu sağlanmıştır.

İşlenmesi kolay olan bir parçada perçinleme işlemi ise Şekil 4'te yer almaktadır.



Şekil 4. İşlenmesi Kolay Olan Bir Parçada Perçinleme İşlemi

- Perçinleme işlemi için toplam harcanan süre 80 saniye
- 1 helikopter için işlenmesi kolay olan perçin kullanılan adım sayısı 69 adım
- $80 * 69 = 5520$ sn/helikopter = 1,533 saat/helikopter

Bu durumda bir helikopter üretimi için 1,533 saat işlenmesi kolay perçinleme işlemi zamanı harcanmaktaydı. Perçin boylarının belirlenmesiyle birlikte kullanılması gereken perçin boyuna karar verme ve temin etme için yapılan iş adımı ortadan kaldırılmıştır.

- Kullanılması gereken perçin boyuna karar verme ve temin süresi 80 saniye
- 1 helikopter için işlenmesi kolay olan perçin kullanılan adım sayısı 69 adım
- $80 * 69 = 4140$ sn/helikopter = 1,15 saat/helikopter

Helikopter başına 1,15 saat zaman tasarrufu sağlanmıştır. Bir helikopter için temin süresi 3,64 (2,49 + 1,15) saat öne çekilmiştir. Bir yılda ortalama 22 helikopter üretilen hatta helikopterler yıllık plana göre 80,08 iş saati erken teslim edilir. Kule yerlerinin belirlenmesi aşamasında 1. ve 5. istasyonlara kuleler açılmıştır. Bu sayede operatörlerin kule ve istasyonlar arasında yürüme süreleri en aza indirilmiştir. Gerçekleştirilen stok politikası sayesinde kule içi etkin şekilde kullanılmıştır ve perçinlerin bulunabilirliği artırılmıştır. Dolayısıyla bütün bu iyileştirmeler sayesinde zaman tasarrufu sağlanmıştır.

Maliyet Kazanımları

Mevcut durumda bağlayıcı boylarının belirsizliğinden kaynaklı, perçinleme işlemlerinde kullanılacak olan her tür bağlayıcının bütün boylarından (26 çeşit) temin edilmekteydi. Kullanılmayan boylar kulede ve depoda fazladan stok bulundurulmasına neden olmaktaydı. Proje kapsamında montaj hattında kullanılan bağlayıcılar ve boyları belirlendikten sonra fazladan stok alanları kaldırılmış ve bu sayede stok maliyetleri azaltılmıştır. Aynı zamanda satın alma ve sipariş verme maliyetleri de azaltılmıştır. Satın alma kalemleri Tablo 1'de belirtilmiştir.

Tablo 1. Satın Alma Kalemleri

PERÇİN TÜRÜ	MEVCUT BOY ÇEŞİDİ SAYISI	ÖNERİLEN BOY ÇEŞİDİ SAYISI
MS20426AD3	26	3
MS20426AD3A	26	10
MS20426AD4	26	4
MS20427F3	26	3
MS20470AD3	26	6
MS20470AD3A	26	3
MS20470AD4	26	18
MS20470AD5	26	3
MS20470AD6	26	3
MS20470E4	26	5
MS20470E5	26	9
NAS1097AD3	26	14
NAS1097AD3A	26	3
NAS1097AD4	26	7
NAS9301B4	26	4
MS20426AD4	26	8
TOPLAM	416	103

Proje tamamlanmadan önce 416 farklı perçin boyu sipariş verilirken projenin tamamlanmasıyla birlikte 103 çeşit perçin sipariş verilmesi sağlanmıştır. Bu durumda satın alma kalemlerinde %75,24'lük azalma gerçekleştirilmiştir.

E.Öneriler, Alınan Dersler ve Gelecekteki Çalışmalar

Mevcut durumda ATAK helikopteri üretiminde kullanılan perçinler tamamen teknisyenlerin deneme-yanılma ile edindikleri tecrübeler doğrultusunda belirlenmekteydi. Projelendirmede yapılan hesaplar pratikteki malzeme toleransı, macun payları ve diğer dış etkenleri pratiğe taşıyamadığı için bu konuda zaman ve maliyet kayıpları bulunmaktaydı.

Edinilen teknisyen tecrübeleri, alınan gözlemler, incelenen raporlar ve yapılan zaman etüdü çalışmalarının tamamı operasyon kartlarına bağlayıcı olarak yeni bir veri girişini sağlayarak bu iş adımını belirsizlikten kurtarmaktadır. Proje kapsamında alınan gözlemler sınırlı olsa da belirlenen yöntem ve yönergeler ile şirketin aynı işlemleri kayıt altına alması zaman içerisinde güvenilirliği çok yüksek bir tahmin oluşturacaktır. Doğrulama ve Revize Modülü olarak farklı senaryoları içerisinde çözümleyen iki yöntem sunulmuş olup bahsi geçen uzun zamanlı gözlem ve veri toplama işlemleri gözetilerek sürdürülebilir bir öneri getirilmiştir. Bağlayıcı boylarının operasyonlar

ve adımlar seviyesinde belirlenmiş olmasından sonra montaj hattında bağlayıcıların depolandığı kuleden kaç adet olması ve hangi konumlarda bulunması gerektiği konusunda en iyi çözüme ulaşılmıştır. Aynı zamanda açılmasına karar verilen kulelerin içindeki bağlayıcı stoklarının düzenlenmesi konusunda ise belirlenen stratejiler doğrultusunda çözüm önerileri sunulmuştur.

Proje kapsamınca sunulan çözüm önerileri sayesinde projede gerçekleştirilmesi amaçlanan, zaman ve maliyet tasarrufu ile verimlilik artışı sağlanmıştır. Operatörlerin kuleye-depoya yürüme süreleri ve sıklıkları en aza indirilmiş, perçinleme işlemlerinin süreleri azaltılmıştır. Kulenin etkin kullanılması sağlanarak kulede perçin bulunabilirliği kolaylaştırılmıştır. Kulede bulunması gereken perçinlerin belirlenmesi ile satın alma maliyeti, stok maliyeti ve sipariş maliyeti de azaltılmıştır.



Dalgali İhtiyaçların Sisteme Yansıtılması ve En Uygun Üretim Parti Büyüklüğünün Tespiti

Başkent Üniversitesi

Endüstri Mühendisliği

Akademik Danışman

Doç. Dr. Y. Tansel İÇ, Dr. Öğr. Üyesi Esra DİNLER

Sanayi Danışmanı

Tuğçe YÜCEL

Lisans Öğrencileri

Ece ÇAVUŞGİL, Aybaha KARAKAŞ, Ufuk GÖREN, Şeyma Aysu DEMİR

A.Problem Tanımı

Üretim sistemlerinde talebin dönemler bazında değişkenlik göstermesi ve sürekli olarak değişmesi üretim planlama faaliyetlerinde ve müşterilerin siparişlerinin karşılanması aşamasında zorlukların ve problemlerin yaşanmasına neden olmaktadır. Bu çalışmada Yapısal B410 bölümünde gerçekleştirilen BWC projesindeki ihtiyaçların kısa vadede dalgali olarak değişmesinden kaynaklı üretim planlama faaliyetlerinde uygun parti büyüklüğünün ve nihai ürünlerin alt parçaları için güvenlik stoğunun belirlenmesi problemi ele alınmıştır. Firmadan veya tedarikçiden kaynaklanan problemlerden dolayı müşteri talebinin zamanında karşılanamaması ve ihtiyaçların kısa vadede dalgali olmasından kaynaklı tahmin edilememesi sonucu ortaya çıkan ek maliyetler firmada sorunlara neden olmaktadır. Bu çalışmada dinamik talepli, çok ürünlü ve kapasite kısıtlı bir sistemde oluşabilecek talep dengesizliğine karşı son ürünler için uygun parti büyüklüğünün belirlenmesi ve alt parçalar için güvenlik stoğunun belirlenmesi üzerinde durulmuştur.

B.Gerçekleştirilen Araştırma Faaliyetleri ve Uygulanan Yöntem

Önerilen veya kullanılabilecek yaklaşımlar bulmak ve geçmişte yapılan benzer projeleri incelemek amacıyla literatür araştırması yapılmıştır. Farklı problem tipleri için farklı çözüm yaklaşımları kullanılmaktadır. Yapılan araştırma sonucunda incelenen makalelerin içerdiği problem türleri ve çözüm yöntemleri farklılık göstermektedir (Bkz. Tablo 1).

Tablo 1. Literatür Çalışması

Yayın	Yıl	Problem Türleri	Çözüm Yaklaşımı
[1] Koken,P., Yoon,S., Raghavan,V.	2018	A genetic algorithm based heuristic for dynamic lot sizing problem with returns and hybrid products.	•Genetik Algoritma •Taylama Benzetimi Algoritması
[2] Arias,A., Gattica,R.	2018	A comparative analysis of mixed integer - linear formulations for the multi-family capacitated lot-sizing problem	•MF TRAD •MF ARBNET •MF EXREQ
[3] Puga,M., Minner,S., Tancrez,J.	2018	Two-stage supply chain design with safety stock placement decisions	•Lagrangian Metodu •Genetik Algoritma •İkinci Dereceden Konik MIP
[4] Brahimi,N., Dauzere-Peres,N., Nordli,A.	2017	Single-item dynamic lot-sizing problems: An updated survey	•Dal- Sınır Algoritması •Aggregate Formülasyonu
[5] Tempelmeier,H., Hilger,T.	2015	Linear programming models for a stochastic dynamic capacitated lot sizing problem.	•Mixed Integer Programming
[6] Osman,H., Demirli,K..	2011	Integrated safety stock optimization for multiple sourced stock points facing variable demand and lead time.	• Matematiksel Karar Model
[7] Parveen,S., AkhtarHasin,M.	2009	2009 Multi-item capacity constrained dynamic lot-sizing and sequencing with setup time. 1992	•Dixon-Silver Sezgisel Algoritması
[8] Kırca,Ö., Kökten,M..	1992	A new heuristic approach for the multi-item dynamic lot sizing problem.	•Sezgisel Algoritma

Mevcut sistem ve özellikleri göz önünde bulundurularak detaylı bir literatür araştırması yapılmıştır. Yapılan çalışmalar ve araştırmalar sonucunda, üretilen ürünlerin parti büyüklüğünü belirlemek amacı ile Kırca ve Kökten'in [8] çalışmasında yer alan dinamik talep altında geliştirilen sezgisel yaklaşım kullanılmıştır.

Son ürünlere ait parti büyüklüğü belirlendikten sonra ihtiyaçların kısa vadede dalgali olarak değişmesinden kaynaklı oluşan gecikmeleri engellemek için son ürünlere ve alt parçalarına ait güvenlik stoku tutulmasının yararlı olacağı sonucuna varılmıştır. Bu doğrultuda yapılan literatür araştırmaları sonucunda Osman ve Demirli'nin [6] çalışmasından yararlanılmasına karar verilmiştir. Kurulacak çözüm sistemi, Parti Büyüklüğü Belirleme Algoritması kullanılarak bulunan son ürünlere ait parti büyüklüğü ve belirlenen bu parti büyüklüklerine göre son ürün ve alt parçaların güvenlik stoğunun bulunması ile birlikte iki aşamadan oluşmaktadır.

Böylece elde edilen sonuçlar ile hem müşteri talepleri zamanında karşılanabilecek hem de olası ek maliyetlerin önüne geçilebilecektir. Son olarak firmaya her iki problemin çözümünde faydalanabileceği, değişen koşullara uyum sağlayabilir yapıya sahip bir Karar Destek



Sistemi (KDS) geliştirilmiştir. Geliştirilen KDS'nin ilk aşamasında kullanılan Kırca ve Kökten'de [8] bulunan algoritma çok ürün, kapasiteli ve dinamik talebin söz konusu olduğu durumlarda kullanılabilen bir yaklaşımdır.

Aşağıda gösterildiği gibi algoritma tüm ürünler içinden en büyük birim başına ortalama maliyete sahip ürünü seçmekte ve bu seçilen ürüne göre kapasite sınırlarını hesaplamaktadır. Aktarılan sınır değerleri ile birlikte karar modeli tek ürün için en iyi üretim miktarı ve stokta taşıma miktarlarını bulmaktadır. Karar modelinin sonucunda oluşan karar değişkenleri ile mevcut kapasite, toplam maliyet ve üretim miktarları güncellenmektedir. Bu süreç tüm ürünler planlanıncaya kadar devam etmektedir.

Matematiksel modelin karar değişkenleri ve kısıtları aşağıdaki şekilde verilmiştir.

Karar Değişkenleri ve Parametreler; x_t : t. dönemdeki üretim miktarı, I_t : t. dönemde tutulan stok miktarı, y_t : t. dönemde üretim varsa, 1; dd. 0, d_t : t. dönemdeki talep miktarı, P_t : t. dönemdeki kapasite, A : Hazırlık maliyeti, h : Stokta tutma maliyeti, c : Birim üretim maliyeti

Karar Modeli

$$I_{t-1} = x_t - I_t = d_t \quad t = 1, \dots, T(1)$$

$$x_t \leq P_t y_t, \quad t = 1, \dots, T(2)$$

$$x_t, I_t \geq 0, \quad t = 1, \dots, T(3)$$

$$y_t \in \{0,1\}, \quad t = 1, \dots, T(4)$$

Kısıtları altında;

$$Z = \text{Min} \sum_{t=1}^T (A y_t + h I_t + c x_t)(5)$$

Amaç fonksiyonu toplam maliyetin minimize edilmesini sağlamaktadır(5). İlk kısıt stok dengesi kısıtıdır(1). Bir sonraki kısıt t. dönemde üretilen miktarın kapasiteyi aşmamasını sağlar (2). Sonraki (3) ve (4) kısıtları ise işaret kısıtlarıdır. Sistemin ikinci aşamasında son ürünlerin belirlenen parti büyüklükleri göz önünde bulundurularak son ürünlere ve alt parçalara ait güvenlik stoğunu belirlemek için Osman ve Demirli'nin [6] çalışmasındaki çözüm yaklaşımından yararlanılmıştır. Bu makale değişken tedarik süresi ve talebe sahip sistemlerde bu değişkenliği karşılayabilmek için güvenlik stoğu politikasını belirlemektir.

Ürünlerin tedarik sürelerinin ve taleplerinin değişken olmasından kaynaklı stokastik bir süreç bulunmaktadır. Bu yüzden çözüm yaklaşımının ilk adımı olarak son ürün ve alt parçaların tedarik sürelerine ve oluşan talep miktarlarına göre bir olasılık dağılımı bulunmaktadır. Sonuçta k. son ürün veya alt parça için tedarik süreleri, parametreleri l_k ve σl_k olarak normal dağılan, k. son ürün veya alt parça için talep miktarları, parametreleri d_k ve σd_k olarak normal dağılan bir dağılım oluşturulmaktadır.

Tedarik süresi ve taleplerden oluşturulan dağılımlardan çekilen parametrelerle söz konusu son ürün ya da alt parçaya ait talebin tedarik süresindeki standart sapması bulunmaktadır (1). σ_{kdl} : k. ürünün tedarik süresi talebinin standart sapması.

$$\sigma_{kdl} = \sqrt{l_k \sigma d_k^2 + d_k^2 \sigma l_k^2} \quad (1)$$

Bulunan tedarik süresi talebi standart sapması söz konusu son ürün ya da alt parçaya ait istenen servis seviyesi parametresi ile çarpılmaktadır ve güvenlik stoğu miktarı bulunmaktadır (2).

Servis seviyesi: Ürüne olan talebin istenen karşılama seviyesidir. σ_{kdl} : k. ürünün güvenlik stoğu miktarı.

$$GS_k = Z_k * \sigma_{kdl} \quad (2)$$

Ortalama talep ve ortalama tedarik süresi değerleri toplanarak ortalama tedarik süresi talebi hesaplanmaktadır (3). μ_{kdl} : k. ürünün ortalama tedarik süresi talebi.

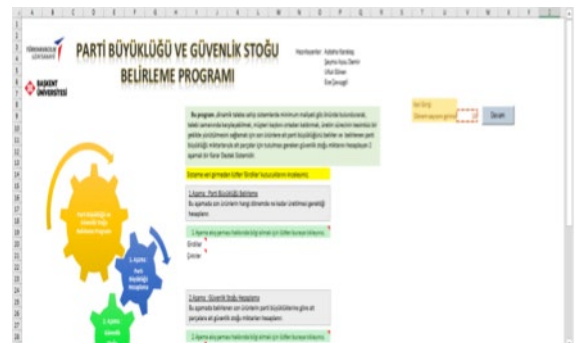
$$\mu_{kdl} = d_k * l_k \quad (3)$$

Söz konusu k. ürüne ait ortalama tedarik süresi talebi ve güvenlik stoğu miktarları toplanarak k. ürüne ait yeniden sipariş verme noktası bulunmaktadır (4). ROP_k : k. ürünün yeniden sipariş verilme noktası.

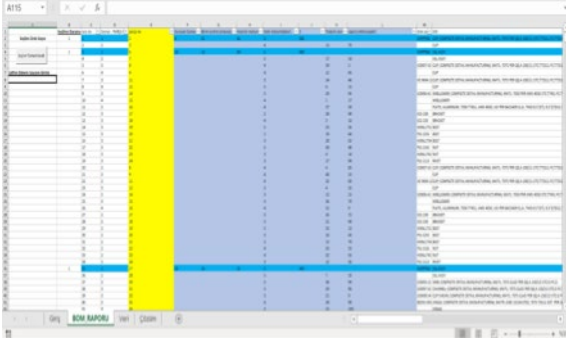
$$ROP_k = \mu_{kdl} + GS_k \quad (4)$$

Geliştirilen Karar Destek Sistemi

Parti Büyüklüğü ve Güvenlik Stoğunun Belirlenmesi için geliştirilen KDS kullanıcı ara yüzündeki ilk sayfa 'Giriş' sayfasıdır. Şekil 1.a'da gösterilen bu sayfada kullanıcıya Karar Destek Sistemi'nin amacı, sistemde kullanılan çözüm yaklaşımı, kullanıcıdan istenen veriler ve kullanıcının program sonunda elde edeceği çıktılar hakkında bilgiler verilmektedir.



a



b



c



d

Şekil 1. Kullanıcı Arayüzü

Kullanıcı planlama yapmak istediği dönem sayısını girdikten sonra veri girişini yapacağı Şekil 1.b'de bulunan 'Bom- Raporu' sayfasına yönlendirilmektedir. Kullanıcı tarafından Şekil 1.c'de parti büyüklüğü ve güvenlik stoğu miktarını hesaplamak istediği son ürünlerin seçime durumlarını "1" olarak işaretleyerek seçim yapması istenmektedir. Bom-Raporu sayfasında parti büyüklüğü ve güvenlik stoğunun hesaplanmasının istendiği ürünler seçildikten sonra kullanıcı Resim 1.c'de bulunan 'Veri' sayfasına yönlendirilmektedir. Bu sayfada kullanıcının seçtiği ürünler sıralanmıştır ve kullanıcı tarafından bu ürünlere ait servis seviyelerinin ve tedarik sürelerinin girilmesi istenmektedir. Ürünlere ait talep verileri ise ilk aşamanın çıktısıdır. Veri girişi tamamlandıktan sonra 'Çözüm' butonuna basılmaktadır. Bu süreçten sonra sisteme eksik veri girilmesi durumunda kullanıcı uyarılmaktadır. Sisteme eksiksiz veri girilmesi halinde, seçilen son ürünlere ait güvenlik stoğu ve yeniden sipariş verme noktası (ROP) sonuçları gösterilmektedir. Daha sonra kullanıcı Şekil 1.d'de gösterilen son ürünlerden istediği ürünü seçmekte ve alt parçalar için hesaplamak istediği servis seviyesini girmektedir. 'Alt Parçaları Göster' butonuna bastıktan sonra söz konusu ürüne ait alt parçaların girilen servis seviyesine göre güvenlik stoğu ve yeniden sipariş verme (ROP) miktarları bulunmaktadır.

C.Araştırma Sonuçları ve Çıktılar

Visual Basic programında yazılmış olan algoritma Excel Çözücü yardımıyla çalıştırılması sonucunda ortaya çıkan çözüm şeklinde verilmiştir. Şekil 2'de gözlemlenen bazı çözümlerin bir kısmının tablo haline getirilmiş şekli gösterilmektedir.

Visual Basic programında yazılmış olan algoritma Excel Çözücü yardımıyla çalıştırılması sonucunda ortaya çıkan çözüm şeklinde verilmiştir. Şekil 2'de gözlemlenen bazı çözümlerin bir kısmının tablo haline getirilmiş şekli gösterilmektedir.

ni Sıralama	Sütun1	Sütun2	Sütun3	Sütun4	Sütun5	Sütun6	Sütun7	Sütun8	Sütun9	Sütun10
XGt	16	0	0	0	16	0	0	0	0	0
Yjt	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
Ijt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
XGt	36	18	0	36	18	18	0	0	36	0
Yjt	1	1	0	1	1	1	1	0	1	0
Ijt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
XGt	24	0	12	0	24	12	0	12	0	12
Yjt	1	0	1	0	1	1	1	0	1	0
Ijt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
XGt	48	0	24	0	48	24	0	24	0	24
Yjt	1	0	1	0	1	1	1	0	1	0
Ijt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
XGt	56	0	28	0	56	28	0	28	0	28
Yjt	1	0	1	0	1	1	1	0	1	0
Ijt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
XGt	0	21	0	42	0	21	0	21	0	21
Yjt	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0
Ijt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Şekil 2. Parti Büyüklüğü Belirleme Sonuç Tablosu

Seçilen ürünün hangi dönem üretileceği, üretim var ise ne kadar üretileceği ve dönemlik stokta tutma miktarları bulunmuştur. Yukarıda verilen tabloda mevcut üretim kapasitesi, talep değerlerinden oldukça fazla olduğundan dönemlik ne kadar talep varsa o kadar üretim gerçekleştirilmektedir.

Şekil 3. Mevcut Sistem ve Oluşturulan Sistemin Karşılaştırılması

Şekil 3'te firmada mevcut sistemde uygulanan sürecin (Talebin 1.5 katı kadar üretilme) maliyeti ile oluşturulan çözüm sistemi sonucunda elde edilen sürecin maliyeti örnek olarak 1 son ürün üstünden karşılaştırılmıştır. Mevcut sistemde talebin karşılanmasında gecikme yaşanan durumlarda müşteriye ürünler uçak yolu ile ulaştırıldığı için katlanılan maliyet her koşulda daha fazla olmaktadır (Tabloda bulunan birim uçak kargo maliyeti (kg) için, internet üzerinde uçak ile kargo taşımacılığı yapan firmaların fiyatları baz alınmıştır.). 2019 yılında Başkent Üniversitesi'nde gerçekleştirilecek 39. Yöneyim Araştırması ve Endüstri Mühendisliği Ulusal Kongresi'nde (YAEM 2019), yapılan bu proje sunulacaktır.

D.Proje Ekibinin Kazanımları ve TUSAŞ'a Olası Katkısı

Bitirme projesini yapılırken mevcut verilerin yeterli sayıda olmasının önemi görülmüştür. Verilen kısıtlı veriler kapsamında olsa da uygulanan sezgisel algoritma ve güvenlik stok formülü, üretim parti büyüklüğünü belirlemek için kullanıldığında firmaya maliyet açısından ciddi katkıda bulunduğu kanıtlanmıştır. Bundan sonra yapılacak çalışmalarda özellikle alt parçalar için daha doğru ve fazla veri ile daha az varsayım altında daha iyi iyileştirmeler yapabileceği değerlendirilmektedir.

Geliştirilen bu KDS ile firma son ürüne ait parti büyüklüğü ve güvenlik stoğu belirleyerek müşteriden gelen dinamik ihtiyaçları teslimat tarihine gecikmesiz bir şekilde üretebilir. Teslimattan önce söz konusu döneme ait talep edilen miktar değişse bile, firma verileri güncellediği halde güvenlik stokları ile bu talebi karşılayabileceği miktarları bulabilir. Böylece TUSAŞ, artık ulaştırma, stok ya da üretim maliyeti gibi ek maliyetlere katlanmak zorunda kalmayacaktır.

E.Öneriler, Alınan Dersler ve Gelecekteki Çalışmalar

Bu proje kapsamında oluşturulan karar destek sistemi ileri zamanlarda bu sistemden faydalanabilecek kişiler tarafından firmanın sahip olduğu iş sürecine, bu süreçlerde çalışan her bir kişiye daha kolay bir çalışma sistemi kurmak için sistemin çalışma prensibine uygun olarak revize edilebilir.



Depo Envanter Kontrolü İçin Nesne Kategorizasyonu ve 3B Haritalandırma Yapabilen İnsansız Hava Aracı Tasarımı

Yıldız Teknik Üniversitesi

Mekatronik Mühendisliği

Akademik Danışman

Doç. Dr. Aydın YEŞİLDİREK

Sanayi Danışmanı

Enes İSMAİLOĞLU

Lisans Öğrencileri

Turan Tuğsan YEŞİL, İlke AL, Zülal Nida KARATAŞ

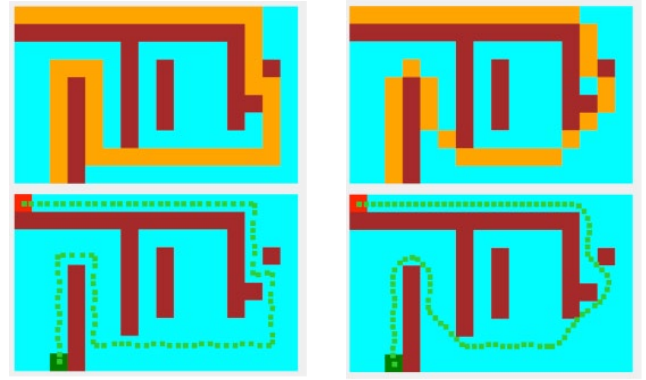
A.Problem Tanımı

Depolardaki ürün saklama, envantör yönetiminde ve aynı zamanda lojistik sektöründe birçok sorun ortaya çıkarmaktadır. Buna ek olarak hatalı envanter sayımı, kayıp parçalar ve depolanmış öğeleri el yordamıyla bulmak gibi genel işlemi bozan problemler bulunmaktadır. Çalışanların iş yükünün, belirli görevlerin otonom bir şekilde yerine getirilmesi ile hafifletilmesi durumunda, modern depoların çalışma mekanizması daha da geliştirilebilecektir. Ek olarak, insandan kaynaklı hataların sifıra indirilebileceği değerlendirilmektedir. Bu ve benzeri sorunları gidermek için otonom bir sistem sunulmaktadır.

B.Gerçekleştirilen Araştırma Faaliyetleri ve Uygulanan Yöntem

Projenin elektrik, elektronik ve mekanik aksamıyla birlikte oldukça geniş bir yazılım boyutu bulunmaktadır. Bu konuda proje ekibi tarafından algoritma yazım çalışmaları devam etmekle birlikte; hem sınır algılayıcı algoritma, hem yüzey algılayıcı algoritmaları, hem de bu algılanan yüzey ve çizgilere dayalı nesne kategorizasyonu yapan nesne algılayıcı algoritma bitmiş durumdadır. İleride gerçekleştirmek istenen husus ise bu nesnelerdeki yüzeylerin birbirlerini kesme açılarından faydalanarak hatasız derinlik hesaplarını yapmaktır. Ayrıca bu derinlik bilgilerini vektörel ve süreç başlarındaki rastgele bir nesne cinsinden kodlayarak depo taraması bitiminde deponun alan boyutlarına sahip olunduğu varsayımı ile metrik olarak çevirme imkânına da erişebileceği düşünülmektedir. Böylece ürünlerin yerlerini 3 boyutlu olarak elde etmiş ve hacim bilgilerine erişmiş olmak amaçlanmaktadır. Başka bir ifadeyle, tarama bittiğinde bütün deponun 3 boyutlu haritası bilgisayar ekranında hazır olacağı düşünülmektedir.

Sınır ve yüzey algılayıcı algoritmaları, görüntüdeki piksellerin RGB ve HSB kodlamaları olmak üzere 2 farklı prensibedayanmaktadır. Her iki algılayıcı da aynı algoritmik adımları izlemekte, komşu piksellerle kıyaslamalar yapıp bölgesini duruma göre genişletmekte veya durmaktadır. Ancak girdiler RGB ve HSB olarak değiştiği zaman RGB uzamsal olarak genişleme gösterirken, HSB yüzeysel bir



Şekil 1. Yol Algoritması

genişleme göstermektedir. Bu değişimin sebebi, HSB değerlerinin daha çok ortamın ışık kaynağından gelen ışınların geliş açısındaki değişimlerle birlikte büyük değişimler gösterebilmesinin, yani ışın geliş açısının baş etmen olmasıdır.

Nesne kategorizasyonu algoritması ise bu algılanan yüzey ve çizgilerin sürekliliklerine bakarak birtakım varsayımlara gitmektedir. Bu durumda derinlik önemli bir etken olarak ortaya çıkmaktadır, çünkü derinlik olmadan nesne kategorizasyonunun birtakım dezavantajda kaldığı durumlar meydana gelebilmektedir. Örneğin bu durum en çok kendisini 2 farklı nesnenin arkalı önlü olarak kamera açısına yakalandığı durumda görünmektedir. Bu durumda görüntü aslında 3 boyutlu uzayın kamera düzlemine izdüşümü olacağından 2 nesne rahatlıkla birbirinin devamı ya da birbirinin içindeymiş gibi görünebilmektedir. Bu durumda her nesne için ayrıca bir özellik olarak yoğun renk skalası kaydediyor olursa bile, bu durum derinliğin elde edilerek sorunun tamamen çözülmesine kıyasla daha verimsiz bir yöntemdir. Şekil 1, hedeflenen 2 nokta arasındaki yol algoritmasını göstermektedir.

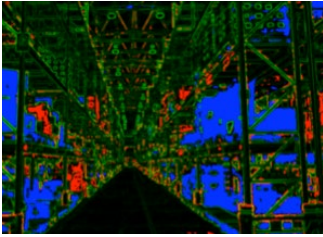


C.Araştırma Sonuçları ve Çıktılar

Teknoloji, gittikçe daha çok alanda aktif olarak kullanılmaktadır. Çoğu sektörde, emniyet, süreklilik ve doğruluk sebebiyle fabrika çalışanları yerlerini otomasyon ürünlerine bıraktırmıştır. Bu kapsamda geliştirilebileceği düşünülen sektörlerden biri de lojistik. Lojistik sektöründe büyük maddi kayıplara yol açabilen çalışan hatalarını minimuma indirmek, aynı zamanda hızlı bir şekilde envanterin taranmasını sağlamak amacıyla proje ekibi tarafından geliştirilen insansız hava aracı projesinin şimdiye dek mekanik tasarım ve algoritma kısımları bitmiş bulunmaktadır. Yapılan literatür taramasının ardından benzer projelerle tasarım karşılaştırıldığında; nispeten düşük kütle sayesinde uçuş süresinin uzaması, görüntü işleme sürecini bilgilerin yollanacağı bilgisayar üzerinden yapılması dolayısıyla İHA üzerinde ek işlemci kullanmama gibi avantajlar bulunmaktadır. Projenin bitiminde, verilen talimatlara uyabilen ve otonom uçuş yapabilen, aynı zamanda herhangi bir depolama alanındaki belirli ya da bütün bölgelerin haritalandırma ve konumlandırmasını sağlayabilen, ardından raflarda bulunan kolileri üzerlerinde bulunan barkod ya da QR kod sayesinde okuyup, edindiği bilgiyi depo veritabanına göndermeyi başarabilen bir araç elde edebilmek amaçlanmaktadır.

Drone'un mekanik ve elektronik komponentlerinin montajı, testleri ve algoritma kısmının çoğunluğu tamamlanmıştır. Bu projenin bir sonraki adımı ise, ANSYS ya da COMSOL Multiphysics gibi simülasyon programları aracılığıyla mekanik analiz yapma ve MATLAB Image Processing Toolbox'ı kullanarak gerekli simülasyonları gerçekleştirmek olacaktır.

Şekil 2, hedeflenen depolarda çekilmiş resimler üzerinden nesne kategorizasyonunu göstermektedir.



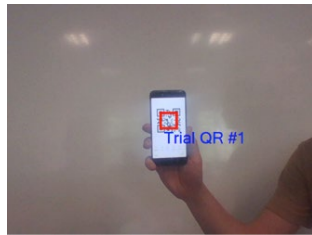
Şekil 1. Yol Algoritması



Şekil 2. Hedeflenen Depolarda Çekilmiş Resimler Üzerinden Nesne Kategorizasyonunu



Şekil 3. İse, kameradan algılanan QR kodların algoritmayla okunmasını göstermektedir.



Şekil 4. Kameradan Algılanan QR Kodların Algoritma ile Okunması

D.Proje Ekibinin Kazanımları ve TUSAŞ'a Olası Katkısı

TUSAŞ bünyesinde bulunan ürünlerin ve nesnelerin kategorizasyonu yapılacak ve depolarda envanter kontrolünde kullanılabilecektir.

E.Öneriler, Alınan Dersler ve Gelecekteki Çalışmalar

Projenin ileride otonom olarak depo kontrolünde kullanılmasını hedeflenmektedir. Yazılım alanında kullanıcılardan alınacak deneyimlere göre güncellemeler yapılabilecektir. Depoların boyutlarının ve özelliklerinin değişmesiyle birlikte daha uygun ve verimli olması için iyileştirmeler yapılabilecektir.



Depo Kurulumu ve Revizyonu Araştırması

Gazi Üniversitesi
Endüstri Mühendisliği
Akademik Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Fatma Yeşim KALENDER ÖKSÜZ
Sanayi Danışmanı
Emre Can TELLİEL
Lisans Öğrencileri
Merve Öykü ÖZTÜRK, Minel AYDIN

A.Problem Tanımı

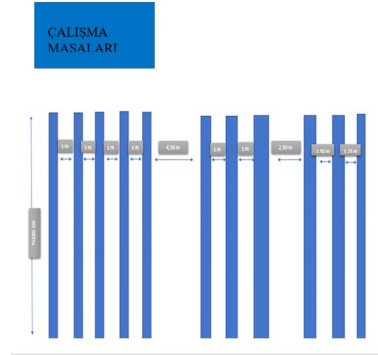
Projeye, Boeing projesi deposu için depo kurulumu ve revizyonu yapma amacıyla projeye başlanmıştır. Boeing projesinin depo alanının düzensiz olması, malzemelerin gelişi güzel konumlandırılması; depo çalışanları için parçaları toplama açısından zaman kaybettirmektedir. Parçaların fazlalığı, depo alanının etkili kullanılamaması, parça ararken fazla zaman kaybedilmesi mevcut problem arasında yer almaktadır.

Gerçekleştirilen Araştırma Faaliyetleri ve Uygulanan Yöntem

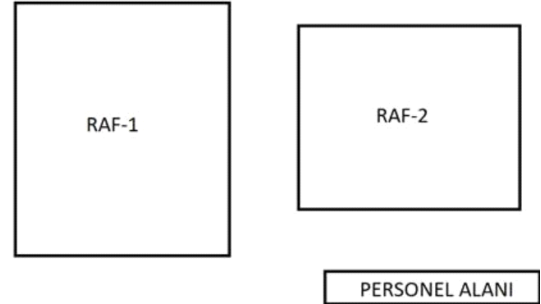
Problemi belirledikten sonra süreç gözlenmiş, Boeing projesi için parçaların ürün ağacı incelenmiş ve depo kurulumu ve revizyonu için literatür araştırması yapılmıştır. Depolama sistemleri araştırılmış ve sistemler karşılaştırılmıştır. En uygun sistemi bulmak için her depolama sisteminin artı ve eksi yönleri belirlenmiştir. Depo görevlilerinin bir kit toplama sürecini ne kadar zamanda gerçekleştirdiği ölçülmüştür. Malzeme toplama sürecinde depo içerisinde nereden nereye gittiği gözlemlenmiştir. Aynı zamanda ürün ağacından da projede kullanılan ortak parçalar belirlenmiştir. Bu veriler ışığında depolama sistemleri karşılaştırılmasıyla ve literatür araştırması sonucunda depo için en uygun depolama sistemi olarak Mezanin Sistemi önerilmiştir. Mezanin Sistemi sayesinde deponun yüksekliği kullanılır hale gelmiş, parçaların düzenli konumlandırılmasıyla da parça arama hızı artırılmasıyla verimliliğin de artması hedeflenmiştir.

Mevcut durum Şekil 1'de görülmektedir. Mezanin Sistemiyle beraber depo alanının etkili kullanılması amaçlanmıştır. Depo yüksekliğini de kullanabilmek amacıyla Mezanin Sistemi 2 katlı olmalıdır. Çok fazla parça olmasından dolayı RAF 1 zemin kat ve üst kat, RAF 2 zemin kat ve üst kat olarak 2 farklı mezanin sistemi düşünülmüştür (Bkz. Şekil 2).

Raflara uygun atamalar yapmak için ABC analizinden yararlanılmıştır. ABC analizinden alınan verilerle beraber matematiksel model oluşturulmuş ve model GAMS'de çözümlendirilmiştir.

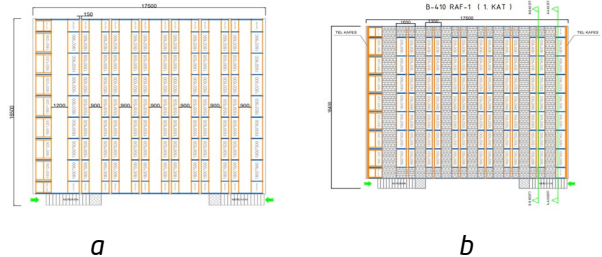


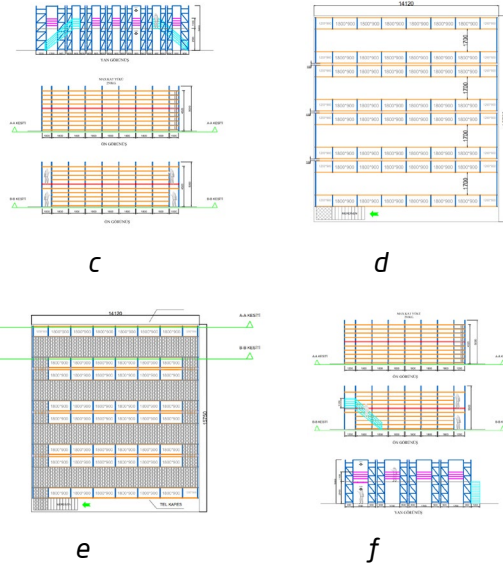
Şekil 1. Mevcut Durum



Şekil 2. Önerilen Mezanin Sistemi

Mezanin sisteminin konumlandırılması Şekil 3'te görülmektedir.





Şekil 3. Mezanin Sisteminin Konumlandırılması. a. RAF 1 Zemin Kat, b. RAF 1 Üst Kat, c. RAF 1 İçin Ön ve Yan Görüş, d. RAF 2 İçin Zemin Kat, e. RAF 2 İçin Üst Kat ve f. RAF 2 İçin Üst Kat

Raflara uygun atamalar yapmak için ABC analizinden yararlanılmıştır. ABC analizinden alınan verilerle beraber matematiksel model oluşturulmuş ve model GAMS'de çözümlendirilmiştir

C.Araştırma Sonuçları ve Çıktılar

Ürün ağacında bulunan malzemeler 48 gruba ayrılmıştır. Malzemelerin kullanım sıklığı belirlenmiştir. Kullanım sıklığına göre normalizasyon oluşturulmuştur. Normalizasyon değerlerine göre de ABC analizi yapılarak parçalar A, B ve C diye kategoriye ayrılmıştır. A kategorisi kullanım sıklığı en fazla olan malzemeler, B parçaları orta kullanım, C ise en az kullanılan malzemeler olarak belirlenmiştir. Bulunan normalizasyon değerler de matematiksel model de kullanılmıştır. ABC analizi Şekil 4'te yer almaktadır.

3	CHW	1	0.00	0.002223705	0.0022237	C
29	RECTANGULAR TUBE METALLIC	1	0.00	0.002223705	0.00444741	C
47	TUBE NON METALLIC	1	0.00	0.002223705	0.00667111	C
15	HVC CORE	2	0.00	0.004447409	0.0111882	C
24	ppm	2	0.00	0.004447409	0.02237647	C
44	tspe	2	0.00	0.004447409	0.0335557	C
7	corres	3	0	0.006671114	0.02668446	C
41	ts	4	0.00	0.008894819	0.03557328	C
42	stuct	5	0.00011185	0.01118523	0.0465978	C
22	norm	8	0.000177896	0.01778968	0.06448744	C
19	mg	10	0.0002237	0.02237047	0.0872448	C
17	M BOND	12	0.000266845	0.02668446	0.1134094	C
23	part	15	0.000333556	0.0333557	0.14676451	C
10	EXTRUSION NON METALLIC	18	0.000400267	0.040026684	0.18479119	C
11	FILM/FOAM ADHESIVE	18	0.000400267	0.040026684	0.21561768	C
45	tspeid	19	0.000422304	0.042230389	0.20606827	C
30	ROD NON METALLIC	19	0.000422304	0.042230389	0.31131866	C
16	WIRING	21	0.000465978	0.046597789	0.35501545	C
39	SHIM METALLIC	31	0.000689482	0.06894845	0.4308113	C
6	Configuration	40	0.000889482	0.088948188	0.51589949	C
48	wiring	40	0.000889482	0.088948188	0.60484768	C
9	Comp	55	0.001233038	0.123303758	0.77151453	C
14	grease	55	0.001233038	0.123303758	0.84845519	C
32	ROUND TUBE METALLIC	61	0.00135646	0.135645986	0.88510119	C
46	tube	62	0.001378897	0.137888691	1.12397387	C
12	FORGING/CASTING	65	0.001445408	0.144540805	1.25715167	C
33	S	65	0.001445408	0.144540805	1.41202548	C
8	electric item	94	0.002090582	0.209058241	1.6108072	C
34	rod	110	0.002446075	0.244607516	1.8686804	C
26	pop	115	0.00255726	0.25572604	2.12141428	C
27	PREPREG	115	0.00255726	0.25572604	2.37714002	C
36	Seal	138	0.003687127	0.36871247	2.48401195	C
28	RECTANGULAR BAR METALLIC	167	0.00713587	0.71358684	5.05537025	C
13	FURNISHING	198	0.004602935	0.460293529	3.49566378	C
31	ROUND BAR METALLIC	200	0.004674039	0.46740393	3.9030473	C
2	Chemical	201	0.00469546	0.46954643	4.38759595	C
18	MAINTENANCE	278	0.006181899	0.618189904	5.0055926	C
38	SHEET/PLATE NON METALLIC	283	0.005293884	0.529388428	5.63486769	C
1	Adhesive	361	0.012174983	1.217498332	8.88235602	C
20	ms	1016	0.02359284	2.359283967	9.14164969	C
25	PIPE METALLIC	1104	0.0245487	2.45486998	11.59962	B
35	ALUMINUM	1718	0.03462817	3.46281705	15.40361817	B
9	EXTRUSION METALLIC	3547	0.078874805	7.887480543	23.3265622	A
37	SHEET METALLIC	5247	0.116777852	11.6777852	34.994407	A
45	SUB ASSY	5524	0.118390028	11.8390078	48.8334449	A
40	pin	5933	0.130133436	13.0133436	59.8497861	A
21	nc	8798	0.195461539	19.54615388	79.412942	A

Şekil 4. ABC Analizi

Matematiksel modelimiz Şekil 5'te yer almaktadır.

i: Malzemeler

j: Malzemelerin atanacağı alan numaraları

t: Hangi numaralı alandan itibaren atama yapılacağını belirten indisi

$X_{ij} = \begin{cases} i \text{ malzemesi } j \text{ nolu alana atanırsa} & 1 \\ \text{Aksi Taktirde} & 0 \end{cases}$

ki: i. malzemenin ABC analizine göre önem katsayısı

dj: j. alanın kapağı olan uzaklığı

bi: i. Malzemenin atanabileceği toplam alan sayısı

Yt: alan atamalarına ilişkin karar değişkeni

$$\sum_{i=1}^{48} \sum_{j=1}^{44} k_i * d_i * X_{ij}$$

$$\sum_{j=1}^{44} X_{ij} = b_i \quad i = 1, 2, \dots, 48$$

$$\sum_{i=1}^{48} X_{ij} = 1 \quad j = 1, 2, \dots, 44$$

$$\sum_{j=t}^{t+b_i-1} X_{ij} - b_i * Y_t \geq 0 \quad i = 1, 2, \dots, 48$$

$$t = 1, 2, \dots, 44 - b_i + 1$$

Şekil 5. Matematiksel Model

Matematiksel model GAMS'e aktarılmış ve gerekli sonuçlar bulunmuştur. Hangi malzemenin hangi rafa atanacağı belirlenmiştir.

Proje Ekibinin Kazanımları ve TUSAŞ'a Olası Katkısı

Bu proje sayesinde depo, depo kurulumu, depo içi yerleşim, depo içi taşıma, malzeme taşıma, depolama sistemleri gibi birçok anahtar kavramları öğrenilmekle beraber derste görülen teorik bilgileri pratiğe dökme şansı kazanılmıştır. Aynı zamanda tez süresinde birçok çalışma yapılmış Boeing projeleri deposu için depo kurulumu ve raflara malzeme atamaları gerçekleştirilmiştir. Mezanin sistemi kurulduğunda herhangi çaba gerekmeden hangi malzemenin hangi rafa atanacağı bilinerek kurulum işlemleri hızlandırılmıştır.

Öneriler, Alınan Dersler ve Gelecekteki Çalışmalar

Bu proje kapsamında Mezanin sistemi kurulduğunda iyileştirmeler gerçekleşmiş olacaktır. Kuruludan sonra iyileştirme olarak asansör sistemi kullanılması ve böylece ağır parçaların taşınımının kolaylaştırılması veya yeni bir malzeme taşıma arabası tasarımı gelecekteki çalışmalara örnek olarak verilebilir.

Elektrikli Hava Araçları İçin Elektrik Güç Üretim ve Dağıtım Sistemi Modellemesi ve Benzetimi

Yıldırım Beyazıt Üniversitesi

Elektrik-Elektronik Mühendisliği

Akademik Danışman

Doç. Dr. Sinan KIVRAK

Sanayi Danışmanı

İstemihan GÖKDAĞ

Lisans Öğrencileri

Merve Nur KARAMAN, Khurshedjon KHUDJAMOV

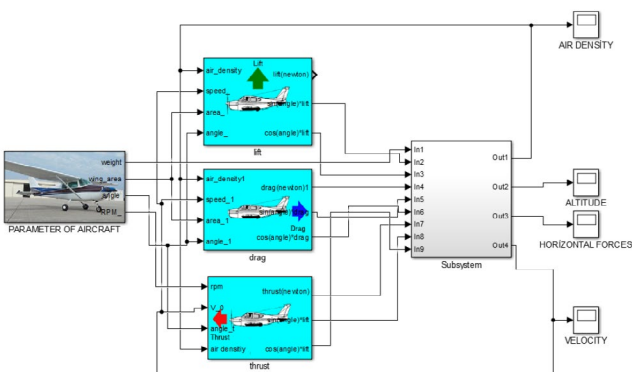
Hüseyin URAL, Mücahit YILDIRIM, Simin YILMAZ

A.Problem Tanımı

Projede, dünyada ve ülkemizde kullanılan çeşitli yakıt motorlu hava araçlarının çeşitli yöntemlerle hibrit hale getirilerek yakıt motoru ve elektrik motorunun birlikte kullanılmasıyla daha etkili bir sistem oluşturulması hedeflenmiştir. Ayrıca tasarlanan hava aracının elektrik güç, üretim ve dağıtım sistemi sayısal modelinin oluşturulması ve farklı elektrik yükü profillerinde benzetimler gerçekleştirilerek sonuçların karşılaştırılması hedeflenmektedir.

B.Gerçekleştirilen Araştırma Faaliyetleri ve Uygulanan Yöntem

Projede yer alan grup üyeleri ile belirli gün ve saatlerde çalışmalar yapılmış, konular ilgi alanlarına göre dağılmış ve her görüşmede tüm üyeler diğer üyeleri yapılan çalışmalar konusunda bilgilendirmiştir. Projenin tüm araştırmaları internet ortamından alınan bilgiler ışığında yapılmıştır. Daha öncesinde yapılan simülasyonlardan örnek alınmıştır. Elde edilen tüm veriler toplanıp birbiri ile ilişkilendirilmiştir. Hava aracına etki eden parametreler birbiri ile ilişkilendirip matematiksel olarak modellenmiş ve bilgisayar ortamında simülasyonu yapılmıştır (Bkz. Şekil 1).



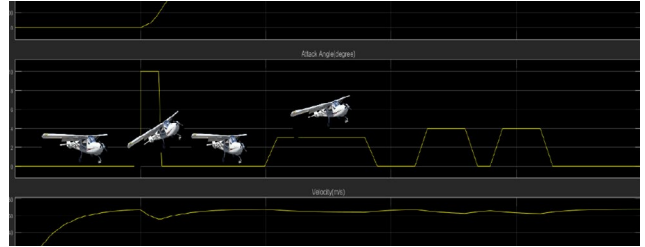
Şekil 1. Simülasyon

C.Araştırma Sonuçları ve Çıktılar

Projenin devam eden aşamasında bir simülasyon ortamı kurulmuştur, yapılan bu ortam hava aracının kalkış, uçuş ivmelenme ve iniş zamanlarına bağlı olarak irtifasını ve hızını göstermektedir.

Sonuç olarak verilen verilerin düzenlenmesinin ve simülasyon ortamındaki parametrelerin detaylandırılması sonucunda, RPM değeri başka bir motor bloğundan elde edilerek simülasyon girdisi olacaktır.

Motor bloğu RPM çıktısını verirken, yakıt tüketimi ve harcanan batarya yoğunluğu verilerini de gösterecektir.



Şekil 2. Simülasyon Sonuçları

Şekil 2'de irtifa ve hız bilgisini vermektedir. Seçilen elektrik motorlarının karakteristikleri matematiksel olarak modellendikten sonra, bu simülasyonda motor bilgisinin girdiği noktaya motor bloğunun çıkışı girecektir. Böylece sistem hangi şartlarda ne kadar enerji harcıyor, motorlar hangi şekillerde ve oranlarda çalışmalı gibi soruların cevapları elde edilecektir.

D.Proje Ekibinin Kazanımları ve TUSAŞ'a Olası Katkısı

Projenin gerçekleştirilmesi / problemin çözümü sonucunda proje ekibi bir hava aracının menziline, tükettiği güce, irtifasına etki eden çeşitli parametrelerin matematiksel olarak nasıl modellenmesi gerektiğini öğreneceklerdir. Ayrıca bir hava aracının yakıt motorlu sistemden hibrit sisteme geçişi sırasında karşılaşılabilecek sorunları çözerek bu tür sistemlerin iç yapılarını ve mantıklarını özümseyeceklerdir. Hibrit sistemde ve tam elektrikli sistemde kullanılan elektrikli motorlar sisteme has motorlardır. Bu motorların gereksinimlerinin anlaşılıp seçilmesi ve tasarlanması hakkında bilgi sahibi olacaklardır. Öğrencilerin ve projenin TUSAŞ'a katkısı ise, bu tür sistemlerde ve projelerde çalışmış öğrenciler daha karmaşık sistemler için aday çalışan olmalarının yanı sıra projenin sonucunda elde edilen bilgilerin birçok departman tarafından kullanılabilmesidir.

Projenin gerçekleştirilmesi / problemin çözümü sonucunda proje ekibi bir hava aracının menziline, tükettiği güce, irtifasına etki eden çeşitli parametrelerin matematiksel olarak nasıl modellenmesi gerektiğini öğreneceklerdir. Ayrıca bir hava aracının yakıt motorlu sistemden hibrit sisteme geçişi sırasında karşılaşılabilecek sorunları çözerek bu tür sistemlerin iç yapılarını ve mantıklarını özümseyeceklerdir. Hibrit sistemde ve tam elektrikli sistemde kullanılan elektrikli motorlar sisteme has motorlardır. Bu motorların gereksinimlerinin anlaşılıp seçilmesi ve tasarlanması hakkında bilgi sahibi olacaklardır. Öğrencilerin ve projenin TUSAŞ'a katkısı ise, bu tür sistemlerde ve projelerde çalışmış öğrenciler daha karmaşık sistemler için aday çalışan olmalarının yanı sıra projenin sonucunda elde edilen bilgilerin birçok departman tarafından kullanılabilmesidir.

Yapılan modelleme bir ara yüz ile birleştirilerek uygulama haline getirilip istenilen parametrelerin girilmesiyle gerekli batarya ve motorun sonucu elde edilebilecektir.

E.Öneriler, Alınan Dersler ve Gelecekteki Çalışmalar

Projede, grup üyelerine hava aracına etki eden parametrelerin matematiksel olarak elde edilmesi, bilgisayar ortamında modellenmesi ve değişen koşullar altında verilen tepkilerin ölçülmesi faaliyetleri yürütülmüştür. Belirlenen hava aracına uygun hibrit sistemin tespiti, motorun ve bataryanın seçimi konusunda katkı sağlamıştır.

Proje, tam elektrikli sisteme geçiş aşaması olarak değerlendirilebilmektedir. Bu dönemde ağır uçakları kaldırabilecek gücü sağlayacak motorlar yeni yeni üretilmeye başlanmıştır. Bu projenin devamı niteliğinde olması amacıyla tam elektrikli bir uçakta kullanılmak üzere düşünülen bir elektrik motorunun tasarımının yapılmasının, mıknatıslarının ve sargılarının hangi özellikte olması gerektiğinin ve bu ürünlerin üretiminde hangi aşamalardan geçmesi gerektiğinin akademik bir araştırma konusu olabileceği değerlendirilmiştir.



Hava Taşıt Kanatlarında Topoloji ve Boyut Optimizasyonu ile Ağırlık Azaltımı

Bursa Uludağ Üniversitesi

Makine Mühendisliği

Akademik Danışman

Prof. Dr. Necmettin KAYA

Sanayi Danışmanı

Erhan ÇİFTÇİ

Lisans Öğrencileri

Osman GÜRKAŞ, Serhat YUDAR, Mehmet Burak Aksu,
Murat ADA, Furkan Sinan ERÇEL, Semih KARAGÖZ, Tolga ÇETİN

A.Problem Tanımı

Projenin Araştırma Sorusu: Hava taşıt kanatlarında, topoloji ve boyut optimizasyonları ile kanat profili değiştirilmeden, gelen yüklere karşı dayanıklı, daha hafif ve özgün geometriye sahip kanat yapısı elde etmek mümkün müdür?

Eksiklikler: Hava taşıt kanatlarında, hafifletme konusunda literatür çalışmaları incelendiğinde topoloji optimizasyonu ile yapılan çalışmaların az olduğu görülmüştür. Hafifletme çalışmaları daha çok malzeme çözümleri üzerinedir.

Hava taşıtlarının ağırlıklarının azaltılması ile enerji verimliliği ve daha iyi manevra kabiliyeti gibi birçok avantaj elde edilmektedir. Genellikle kompozit gibi farklı malzemelerin kullanımı ile ağırlık azaltımı sağlanmakla beraber geometri üzerinden gereksiz hacimlerin kaldırılması ve şekil ve boyut optimizasyonu konusunda yapılan çalışmalar azdır. Bu bitirme projesinde, hava araçlarında kanat yapısında topoloji ve boyut optimizasyonu ile optimum geometriler belirlenerek yapısal optimizasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen optimizasyon çalışmaları sonucunda projenin amacı geleneksel imalat yöntemleri ile üretilebilir olan optimum geometriler elde etmektir.

B.Gerçekleştirilen Araştırma Faaliyetleri ve Uygulanan Yöntem

Yöntemde izlenen adımlar Şekil 1'de yer almaktadır.

Kanat CAD Yüzey Modelinin Oluşturulması

Dört ve beş dijit NACA profil formülleri kullanılarak Excel içinde Visual Basic programı yardımıyla noktalar elde edilmiş, Excel yardımıyla Catia'ya aktarılmıştır. Ayrıca Catia içindeki Visual Basic programlaması ile de makro yazılarak doğrudan kanat profil noktaları elde edilmiştir.

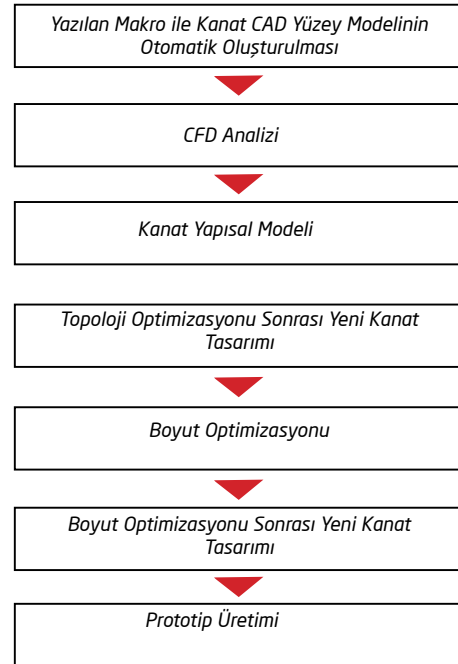
CFD Analizi

Kanada 2° lik bir hücum açısı verilmiştir. Kanadın içinde bulunacağı havayı modellemek için dikedörtgenler prizması şeklinde bir kontrol hacmi oluşturulmuştur.

Kontrol hacmi içinden kanat hacmi çıkartılmıştır. Türbülans modeli olarak standart k-epsilon modeli seçilmiştir. Yüzeye dik olarak 159 m/s'lik bir giriş hızı verilmiştir. Bu giriş hızı değeri Hürkuş eğitim uçağının çıkabildiği en yüksek hıza göre hesaplanmıştır.

Kanat Yapısal Modelinin Oluşturulması

Örnek olarak tasarlanan kanat yapısının çalışma şartları göz önüne alınarak kanat profiline gelen yükler tespit edilmiştir, CFD analizinden elde edilen basınç değerleri yapısal sonlu elemanlar modeli üzerine aktarılmıştır. İki boyutlu elemanlardan oluşan kanat yapısında skin, rib ve spar elemanları bulunmaktadır. Yapısal analizler olarak statik analizler, modal analizler ve burkulma analizleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. Yöntem Akış Şeması

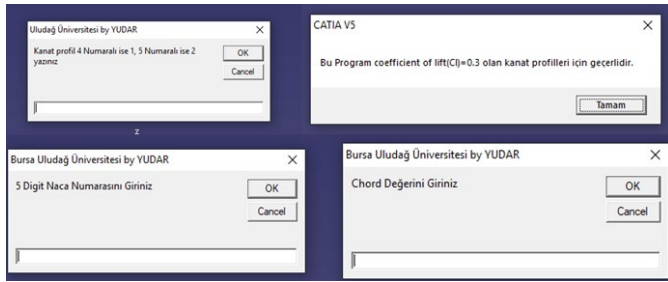


Topoloji ve Boyut Optimizasyonu

Topoloji optimizasyonu ile parçanın dış boyutlarında herhangi bir değişiklik olmaksızın, parçanın rijitliğini bozmayacak şekilde rib elemanları üzerinden malzeme boşaltılması yapılmıştır. Kısıt olarak kompiansın minimizasyonu, hedef olarak ise hacmin %30 azaltılması

Prototip Üretimi

Topoloji ve boyut optimizasyonu ile elde edilen kanat iç yapı geometrisi ve kalınlık değerleri referans alınarak belli bir ölçekte prototip üretilmiştir. Çıktılar Şekil 2-7'de gösterilmiştir.



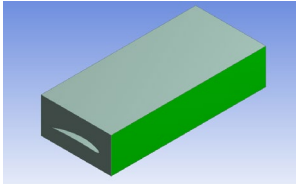
Şekil 2. Makro Yazılımı ile Kanat Geometrisinin Oluşturulması

seçilmiştir. Boyut optimizasyonu için kısıtlar; gerilmenin 195 MPa'dan küçük olması ve burkulma emniyet katsayısının 1.5 olması, hedef olarak ise kütlenin minimizasyonu seçilmiştir.

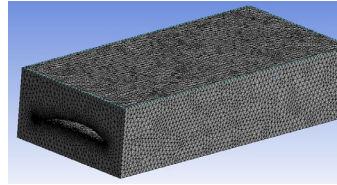
C.Araştırma Sonuçları ve Çıktılar

Kanat iç yapısında bulunan rib elemanlarının tümüne topoloji optimizasyonu uygulanmış ve toplam rib'ler üzerinde gereksiz hacimler çıkartılmıştır. Başlangıç kalınlıkları sırasıyla spar için 4 mm, rib'ler için 3 mm ve skin için 5 mm alınmıştır. Yapılan ilk analiz sonucunda burkulma emniyet katsayısı 1'e çok yakın olduğu için değerler skin için 6 mm, spar için 4 mm ve ilk rib 5 mm, diğer rib'ler 3 mm olacak şekilde yeniden analiz edilerek burkulma açısından emniyetli hale getirilmiştir. Emniyetli hale getirilmiş halde topoloji optimizasyonu yapıldıktan sonra çıkan sonuca uygun olarak tasarım güncellenmiştir. Son olarak boyut optimizasyonu yapılmıştır. Boyut optimizasyonu sonuçlarına göre rib 1 mm, spar 2 mm ve skin 6,5 mm olarak elde edilmiştir. Çalışma sonucunda tek kanat için %5 oranında ağırlık azalması sağlanmıştır.

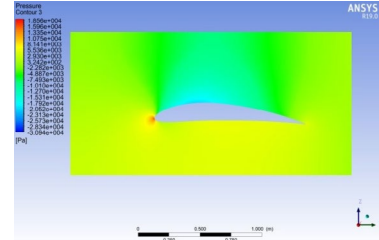
Araştırma sonuçları Şekil 8-12'de gösterilmiştir.



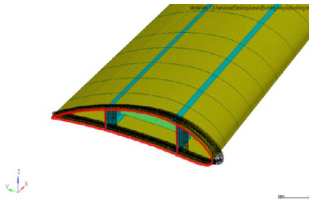
Şekil 3. CFD Analizi Sınır Şartı



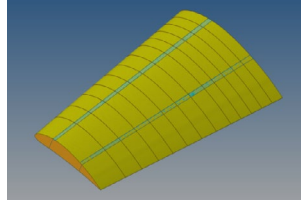
Şekil 4. CFD Analizi Kontrol Hacmi



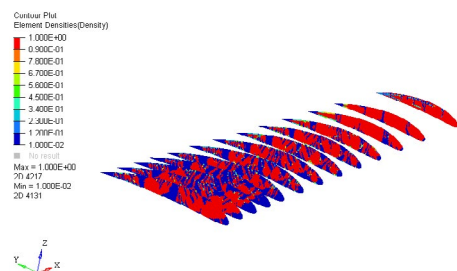
Şekil 8. CFD Analizi Basınç Dağılımı



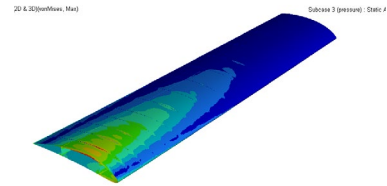
Şekil 5. Sınır Şartları



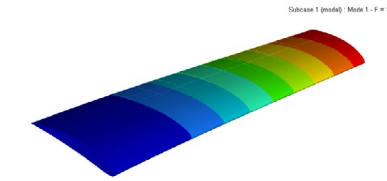
Şekil 6. Sonlu Elemanlar Modeli



Şekil 7. Topoloji Optimizasyonu



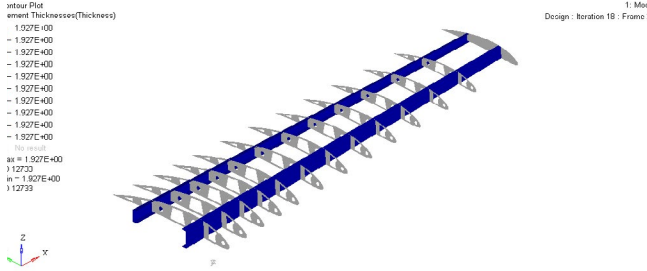
Şekil 9. Topoloji Öncesi von-Mises Gerilme Dağılımı



Şekil 10. Topoloji Öncesi Kanadın 1. Doğal Frekansı (10.5 Hz)



Şekil 11. Topoloji Sonrası Rib Tasarımı



Şekil 12. Boyut Optimizasyonu Sonrası Kanat Tasarımı

D.Proje Ekibinin Kazanımları ve TUSAŞ'a Olası Katkısı

TUSAŞ'ın stratejik ihtiyaçları doğrultusunda yaptığımız projemiz sonucunda çok disiplinli bir problem üzerinde araştırma yapma, güncel olarak kullanılan yazılımlar konusunda tecrübe kazanma, grup olarak çalışma, uçak kanadının aerodinamik analizini yapma, analizler için doğru sınır şartlarını belirleme, topoloji ve boyut optimizasyonu ve doğru üretim yöntemini belirleme konularında proje ekibinin yoğun çabası ve kazanımları olmuştur.

TUSAŞ'ta yürütülen çalışmalar kapsamında üretimi gerçekleştirilen hava araçlarının tümünde ağırlıkların azaltılması hala devam eden önemli bir araştırma ve geliştirme konusudur. Gerçekleştirilen optimizasyon çalışmaları sonucunda, yüklerin etkisinde kalan kanat iç yapısını oluşturan elemanlara topoloji ve boyut optimizasyonu uygulanmış ve hafifletme sağlanmış, geleneksel imalat yöntemleri ile üretilebilir olan optimum geometriler elde edilmiştir. Bu kapsamda projenin TUSAŞ'ta yürütülen hafifletme çalışmalarına destek olması beklenmektedir. Ayrıca yine bu proje kapsamında geliştirilen kanat tasarımı yazılımı ile sadece kanat geometrisinin verileri girilerek otomatik olarak kanat CAD modelini çıkaran yazılımın kanat tasarım sürecini kısaltması ve TUSAŞ bünyesinde kullanılması söz konusu olabileceği değerlendirilmiştir.

E.Öneriler, Alınan Dersler ve Gelecekteki Çalışmalar

Proje sürecinde hava araçlarının kanat ve kanat iç yapıları, hasar modları ve sınır şartları çalışılmış ve modellemelerde çoklu-fizik modellemelerinin önemli olduğu görülmüştür. Kara taşıtlarına göre farklı sınır şartları altında çalışan hava taşıtlarının en önemli parçalarından olan kanatlar hakkında modelleme, analiz ve optimizasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir ve bu alanlarda deneyim kazanılmıştır. Hava taşıtlarında sadece hafif malzeme kullanımı ile değil, aynı zamanda geometrik optimizasyon yöntemleri ile de istenen kriterleri sağlayacak şekilde kütle azaltımının mümkün olabileceği görülmüştür. En iyi tasarıma ulaşmak için deneme-yanılmadan ziyade modern optimizasyon yöntemlerinin uygulanması ile hem aşırı emniyetli tasarımdan hem de emniyetsiz tasarımlardan kaçınılarak optimum tasarımların elde edilebileceği görülmüştür.

Bu çalışmada kullanılan tüm boyutlar ve malzeme değerleri jenerik olarak alınmıştır. Bu bitirme projesinde yapılan çalışmalar gelecekte gerçek boyut ve malzeme değerleri ile de çalışılarak gerçek ölçülerde bir hava taşıt kanadı üzerine uygulanabilecektir. Yapılan çalışma bir adım öteye götürülerek rib elemanların kanat ekseninde optimum olarak konumlandırılması, sayılarının optimizasyonu ve rib'ler üzerinde yapılan boşaltmaların şekil optimizasyonları yapılarak en hafif ve dayanıklı kanat modelleri elde edilebileceği değerlendirilmiştir. Proje kapsamında yazılmış olan otomatik kanat geometrisi oluşturma yazılımı geliştirilerek farklı türdeki kanatların tasarımı için de geliştirilebilecektir.

Havacılık Sektöründe Kullanılan Alüminyum Malzemeleri Korozyona Karşı Korumak İçin Uygulanan Yüzey İşlemlerinin Yorulma Ömrüne Etkilerinin Araştırılması

Bursa Teknik Üniversitesi
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği
Akademik Danışman
Prof. Dr. Deniz UZUNSOY
Sanayi Danışmanı
Bahar Zeynep TUNA
Lisans Öğrencileri
Duygu KOLCU
Musa Bahadır GÜÇLÜER, Mustafa Yunus KAYA,
Orçun KESEBİR

A.Problem Tanımı

Alüminyum ve alüminyum esaslı alaşımlar kendine özgü mukavemetlerinin üst düzey olması, ortalama derece tokluk ve korozyon dirençleri sebebiyle uçak endüstrisinde oldukça yaygın kullanım alanına sahip olmaktadır. Özellikle 2XXX ve 7XXX serisi alaşımlar günümüzde havacılık sektöründe yaygın olarak uçakların çeşitli kısımlarında kullanılmaktadır. Bu serinin en bilinen ve yaygın olarak kullanılan alaşımları 2024 ve 7075 alüminyum alaşımlarıdır.

Alüminyum malzemeleri korozyona karşı korumak için uygulanan çeşitli yüzey işlemlerinin malzemenin yorulma ömrüne etkileri bulunmaktadır. Yorulma, malzeme parçalarında gerçekleşen değişken gerilmelerin bu parçaların statik dayanımından çok daha küçük olmalarına rağmen belirli tekrar sayısı neticesinde metal yüzeyinde çatlama ve bu çatlama sebebi ile metalde kopma veya kırılma olayı oluşmasıdır. Uygulanan korozyondan korunma işlemleri de genelde malzemeyi korozyona karşı korurken, malzemenin yorulma ömrüne de bir takım katkı sağlamaktadırlar.

Bu proje kapsamında, havacılık sektöründe yaygın olarak kullanılan 2024 ve 7075 alaşımlarına uygulanan korozyondan korunma işlemlerinin, malzemenin yorulma davranışı üzerindeki etkileri araştırılmıştır

B.Gerçekleştirilen Araştırma Faaliyetleri ve Uygulanan Yöntem

Alüminyum Alaşımlarına Uygulanan Yüzey İşlemleri Alüminyum parçalarında yüzey kalitesi doğrudan yüzey işlemine, film kalınlığına, işlem kontrolüne ve kanıtlanmış standartlara bağlıdır. Çok uzun ömürlü olacak şekilde korozyona karşı koruma aracı olarak kullanıldığında, yüzey işlemleri aslında metal yüzeyinin durumunu veya özelliklerini çeşitli şekillerde değiştirmektedir:

- Metalin hem yüzey sertliği hem de aşınma direnci gibi belirli özelliklerini değiştirirler.
- Dış görünümünü değiştirirler ve metalin

dekorasyonuna katkıda bulunurlar.

- Boya, vernik ve bağlanma yapıştırıcıların kaplamaların yapıştırılmasında yardımcı olur.
- Ürüne hem daha dayanıklı bir görünüm sağlarken korozyona karşı daha fazla koruma direnci kazandırır.

Alüminyum Alaşımlarına Uygulanan Yüzey İşlemleri

Anodizasyon
Sert Anodizasyon
Kromat
Kimyasal Parlatma
Yağ Giderme
Kimyasal Dönüşüm
Toz Kaplama
Islak Kaplama
Mekanik Yüzey İşlemleri

En çok kullanılan yüzey işlemlerinden biri anodizasyon işlemi; kromik asit, sülfürik asit ve sert anodizasyon çeşitlerinden oluşmaktadır.

Anodizasyon işlemleri, havacılık sektöründe yaygın olarak kullanılır ve yüksek mukavemetli alüminyum alaşımlarının korozyondan korunmasında büyük rol oynamaktadır. Anodizasyon işlemi, bir elektrik akımı uygulayarak bir elektrolit çözeltisi içerisinde alüminyum alaşım yüzeyi üzerinde bir alüminyum oksit tabakası oluşturan bir elektrokimyasal işlemidir.

Bir yüzey işlemi olan anodizasyon işleminin uygulanma sebepleri aşağıda maddeler halinde verilmiştir:

- Parçanın korozyon direncini artırır.
- Dekoratif görünümünü geliştirir.
- Aşınma direncini artırır.
- Boya yapışma özelliğini artırır.
- Adhesiv bağını artırır.
- Bağlanma özelliklerini artırır.
- Elektrik yalıtımı sağlar.



ANODİZASYON ÇEŞİTLERİ Kromik asit anodizasyon (CAA)

Geleneksel altı değerlikli krom bileşikleri olan dikromat veya kromik asit, güçlü korozyon önleyici özellikleri nedeniyle, anodik kaplama sızdırmazları olarak kullanılmaktadır. Kromik asit anodizasyon ve dikromat sızdırmazlık teknolojisi yüksek mukavemetli alüminyum alaşımlarının yorulmaya karşı hassas bileşenlerde veya sıkı boyut toleransı olan parçalar ve bağlantıların korozyon koruması için yaygın olarak kullanılmaktadır. Dikromat sızdırmazlı CAA kaplaması genellikle çok incedir ve az ya da hiç yorulma riski yoktur. Dikromat sızdırmazlı CAA kaplama, hem iyi bir korozyon koruması hem de bağ astarı veya boya astarı ve üst kaplamalar için iyi bir yapışma sağlamaktadır.

İnce Film Sülfürik Asit Anodizasyon (TFSAA)

İnce Film Sülfürik Asit Anodizasyon TFSAA, alüminyum alaşımları için korozyon koruması sağlamak için CAA'nın yerini alabilecek basit bir anodizasyon teknolojisidir. TFSAA'nın sızdırmazlığını sağlamak için kromsuz sızdırmazlık teknolojileri kullanılabilir. Bu yöntemin

teknik zorluğu geleneksel dikromat sızdırmazlı CAA ile karşılaştırılabilir performans sağlayabilen düzgün bir şekilde sızdırmazlığı sağlanmış bir TFSAA kaplama yapabilmektir. Anodizasyon yağ giderme, alkali temizleme, deoksidasyon, anodizasyon, sızdırmazlık ve kurutma işlemlerini içeren çok aşamalı bir süreçtir. Anodizasyon voltajı, elektrolit konsantrasyonu, elektrolit sıcaklığı, anodizasyon zamanı ve rampa oranı gibi işlem parametreleri, TFSAA kaplama morfolojisi ve özelliklerini etkilemektedir.

ANODİZASYON ÖNCESİ UYGULANAN İŞLEMLER

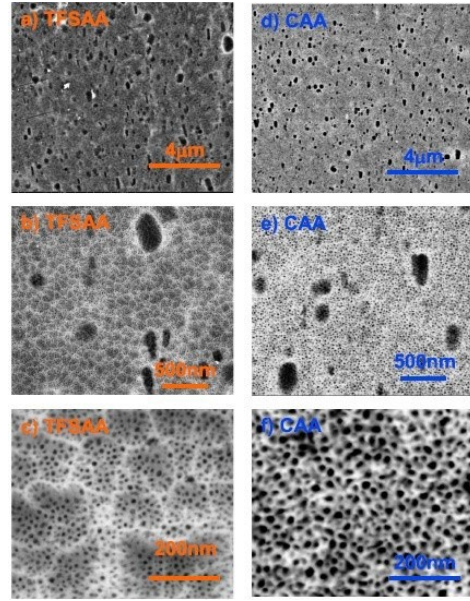
Shot Peening

Alüminyum alaşımların yorulma dayanımını arttırmak için çeşitli araştırma grupları tarafından mekanik yüzey geliştirme teknolojileri geliştirilmiştir. Bu teknolojiler arasında, bilyalı yüzeyi sertleştirme Shot Peening (SP), havacılık uygulamaları için alüminyum alaşımlarının yorulma mukavemetini arttırmak için yaygın olarak uygulanmaktadır.

C.Araştırma Sonuçları ve Çıktılar

TFSAA, alüminyum alaşımlarının korozyondan korunmasını sağlamak için CAA'nın yerini alabilecek basit bir anodizasyon teknolojisidir. TFSAA'nın sızdırmazlığını sağlamak için kromsuz sızdırmazlık teknolojileri kullanılabilir. Bu yöntemin teknik zorluğu geleneksel dikromat sızdırmazlı CAA ile karşılaştırılabilir performans sağlayabilen düzgün bir şekilde sızdırmazlığı sağlanmış bir TFSAA kaplama yapabilmektir. Kaplamanın ince yapısı nedeniyle (<3 µm), iki aşamalı sızdırmaz TFSAA'nın yorulma miktarının küçük olması beklenmektedir. Bununla birlikte, yorulma kaybı uygulamaya özel gereksinimleri karşıladığını doğrulamak için detaylı bir çalışma yapılmalıdır.

Şekil 1'de TFSAA kaplama ve CAA kaplama için farklı büyütmelerde SEM görüntüleri yer almaktadır.



Şekil1. TFSAA kaplama (a-c) ve CAA kaplama (d - f) için farklı büyütmelerde SEM görüntüleri

Shot Peening işlemi (Bilyalı sertleştirme işlemi), mekanik bileşenlerin yorulma direncini artırmak için yaygın olarak uygulanan bir anodizasyon öncesi yüzey işlemidir. Metalik bir bileşenin yüzeyinin vuruşlar yapılarak yüksek hızda bombardımana tutulması ile gerçekleştirilmektedir. Shot Peening işleminin, yüzey üzerinde sıkışan kalıcı gerilmenin varlığı nedeniyle, 7075 alüminyum alaşımının döner eğmeli yorulma ömrünü arttırdığı sonucuna ulaşmıştır.

D.Proje Ekibinin Kazanımları ve TUSAŞ'a Olası Katkısı

Proje kapsamında gerçekleştirilen çalışmalar proje ekibinin havacılıkta yaygın olarak kullanılan 2XXX ve 7XXX serisi alüminyum alaşımları bunların üretimleri, korozyon ve yorulma direncini arttırmaya yönelik uygulanacak işlemler ile ilgili detaylı bir çalışma yapmasına ve bu alanda araştırmacı yetiştirmesine katkı sağlayacaktır. Bu çalışmalar ile belirtilen alüminyum alaşımlarına yönelik uygulanan yüzey işlemleri ile yorulma dayanımının değişimini içeren bir malzeme indeksi geliştirilmiştir.

E.Öneriler, Alınan Dersler ve Gelecekteki Çalışmalar

Proje kapsamında gerçekleştirilen çalışmalar literatür bulgularına dayalı bir şekilde malzeme indeksinin kurulmasını içermektedir. Gelecekte yapılacak çalışmalar teoride elde edilen bu bilgiler ışığında deneysel uygulamalarının gerçekleştirilmesini içerecek şekilde kurgulanmalıdır.

Hibrit Dişli Çark Tasarımı ve Prototip Üretimi

Bursa Uludağ Üniversitesi

Makine Mühendisliği

Akademik Danışman

Doç. Dr. Fatih KARPAT

Sanayi Danışmanı

Mehmet Ali YAVUZ

Lisans Öğrencileri

Adem Çağlayan UZUN, Meltem TOPÇU

Yavuz FERAH, Abdülhamit DİLER, Kemal DEMİR

A.Problem Tanımı

Döner kanatlı hava araçları uygulamalarında kullanılan bileşenler, güvenilirlik veya güvenlikten ödün vermeden asgari ağırlığın elde edileceği şekilde tasarlanmaktadır. Güç aktarma mekanizmaları döner kanatlı hava araçlarının genel ağırlığının yaklaşık %10'unu oluşturur. Bu bileşenlerin güç/ağırlık oranını arttırmak için birçok yaklaşım uygulanmıştır.

Güç/ağırlık oranını iyileştirmek için elemanlar ya da tüm sistem için tasarım değişiklikleri ve gelişmiş malzemeler sayesinde önemli iyileşmeler sağlanmıştır. Kompozit malzemeler yüksek dayanımlarının yanında sahip oldukları düşük yoğunlukları ve sönümleme kabiliyetleri nedeniyle birçok yapısal elemanda olduğu gibi dişli çarkların tasarımında da artık iyi bir alternatif olarak görülmektedir. Ortaya çıkarılan hibrit (Çelik-Kompozit malzeme) dişli çarkların döner kanatlı hava taşıtlarında dahi uygulama potansiyeli bulunduğu özellikle NASA Glenn Enstitüsü'nün araştırmalarıyla ortaya çıkmıştır.

Bu çalışmada dişli çarkta diş dışındaki kısımlarda kompozit malzeme (karbon fiber prepreg, cam elyaf) kullanılarak üretilen hibrit dişli çarkın tasarımı ve prototip üretimi gerçekleştirilecektir. Bu bitirme projesinde de yük taşıma kapasitesinde azalma olmadan dişlide %15 ağırlık azaltmanın elde edilmesi hedeflenmiştir.

B.Gerçekleştirilen Araştırma Faaliyetleri ve Uygulanan Yöntem

Projede ilk olarak literatür araştırması yapılarak şimdiye kadar gerçekleştirilmiş olan analiz ve tasarımlar, Bursa Uludağ Üniversitesi e-kütüphanesi üzerinden incelenmiştir. Literatür araştırmasında kullanılan veri tabanları; Elsevier (ScienceDirect) (E-Kitap), SpringerLink, Science Direct, NASA Technical Reports Server'dır (NTRS). Ardından konuyla ilgili araştırmalar baz alınarak tasarım parametreleri oluşturulmuştur. Dişli çark modelleri Solidworks 2018 ve NX 12.0 CAD programları üzerinde oluşturulmuştur. Modeller hazırlandıktan sonra ANSYS WORKBENCH 18.1

üzerinden sonlu elemanlar metodu ile modal analiz gerçekleştirilmiştir.

Nihai tasarım elde edildikten sonra üretim ve malzeme temininde yardımcı olabilecek firmalar ile görüşmeler sağlanmıştır. Görüşmeler sonucunda Sazcılar Otomotiv A.Ş., Bostik Smart Adhesive ve KordSA firmaları ile görüşülüp üretim için plan yapılmıştır. Kompozit malzeme için KordSA firmasından yapılan araştırmalar doğrultusunda karbon fiber prepreg malzeme temin edilmiş ve ardından Sazcılar Otomotiv A.Ş. firması ile kompozit plaka üretilmiştir. Dişli ile kompozit malzemenin birleştirilmesi için Bostik Smart Adhesive firması yardımıyla çalışmalar yürütülmektedir

C.Araştırma Sonuçları ve Çıktılar

Dişli çarkların (Çelik ve Hibrit) sonlu eleman modellerinin parametreleri ve tasarlanan çelik dişli modelinin temel boyutları Tablo 1'de görülmektedir.

Diş Sayısı (z)	42
Modül	2
Do(Taksimat dairesi çapı)	84 mm
Da(Diş başı çapı)	88 mm
Df(Diş dibi çapı)	79,2 mm
Db(Temel daire çapı)	78,93 mm
b (diş genişliği)	6 mm
Basınç açısı (Φ)	20°
Göbek çapı	30mm
Çelik dişli ağırlığı	0,29695 kg
Hibrit dişli ağırlığı	0,27018 kg

Tablo 1. FEA Modal Analizleri

Çelik dişli için deneylerde elde edilecek doğal frekansları doğrulamak ve ilişkili mod şekilleri hakkında bilgi sağlamak için bir modal analiz yapılmıştır. Sonlu elemanlar ağı, 21370 adet tetrahedron elemanlarından ve 34750 düğümden oluşturulmuştur. Global eleman boyutu 2,54 mm'dir. Dişli, Young modülü 2.05 x 105 MPa, Poisson oranı 0.29, kütle yoğunluğu 7861 kg/m3 olan izotropik malzeme AISI 4140 çelikten üretilmiştir. Analizde dişli üzerinde hiçbir sınır koşulu tanımlanmamıştır (free-free).

Hibrit dişlinin çelik malzemesi AISI 4140, kompozit kısmı da 6 mm kalınlıkta karbon elyaf prepegden üretilen plakalardan kesilerek elde edilmiştir. Kompozit plaka, twill yapıda karbon elyaf prepregin 22 katmanından meydana gelmiştir. Analizde kullanılacak kompozit malzemenin ortotropik özellikleri yapılan araştırmalardan alınmış ve malzeme temini bu doğrultuda gerçekleştirilmiştir. Sonlu elemanlar ağı, 44060 adet tetrahedron elemanlarından ve 73155 düğümden oluşturulmuştur ve global eleman boyutu 2,54 mm'dir. Kompozit için kullanılan ortotropik özellikler Tablo 2'de belirtilmiştir.

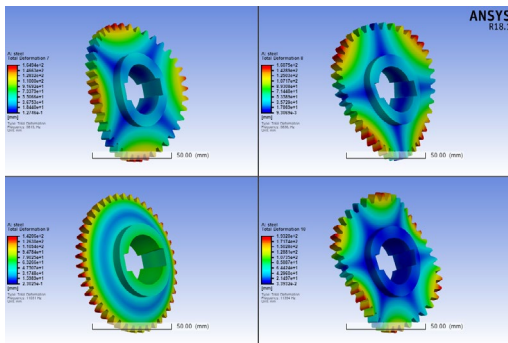
Özellik	E12, GPa	E13, GPa	E23, GPa	v12	v13	v23	G12, GPa	G13, GPa	G23, GPa	ρ (kg/m ³)
Değer	42.8	41.4	7.4	.3	.36	.39	14.2	2.06	2.03	1522

Tablo 2. Kompozit İçin Kullanılan Ortotropik Özellikler

Analizde tanımlanan ilk altı mod rijit body öteleme ve dönme hareketleridir. Bu nedenle, çelik dişli için 7'den 12'ye kadar olan modlar Tablo 3 ve Şekil 1'de görüldüğü şekilde incelenmiştir.

	MOD	FREKANS (Hz)
Çelik Dişli AISI4140	7	5815
	8	5836
	9	11031
	10	11394
	11	11460
	12	13810

Tablo 3. Çelik Dişli Doğal Frekansları

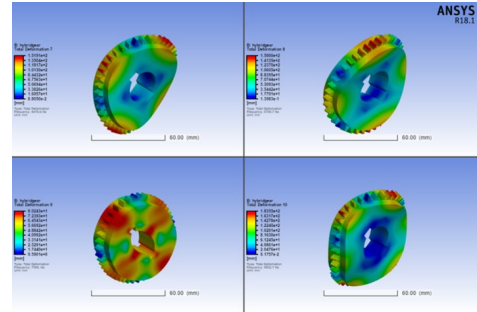


Şekil 1. Çelik Dişli Mod Şekilleri

Benzer şekilde, hibrit dişli için 7'den 12'ye kadar olan modlar Tablo 4 ve Şekil 2'de görüldüğü şekilde incelenmiştir.

Tablo 3. Hibrit Dişli Doğal Frekansları

	MOD	FREKANS (Hz)
Hibrit Dişli	7	4475,5
	8	5699,6
	9	7902,1
	10	9850,3
	11	9912,1
	12	10523



Şekil 2. Hibrit Dişli Mod Şekilleri

Sonuç olarak dişlide gerçekleştirilmesi planlanan hafifletme işlemi Tablo 3'te de görüldüğü gibi hibrit dişlide çelik dişliye göre yaklaşık %10 daha hafif bir yapı oluşmuştur. Doğal frekanslar bilgisayar ortamında tespit edilip mod şekilleri çıkarılmıştır. Henüz üretim tamamlanmadığı için dişliler üzerinde yapılacak testlerde elde edilecek sonuçlar ile herhangi bir karşılaştırma yapılamamıştır.

D.Proje Ekibinin Kazanımları ve TUSAŞ'a Olası Katkısı

Döner kanatlı hava araçları uygulamalarında kullanılan bileşenler, güvenilirlik veya güvenlikten ödün vermeden asgari ağırlığın elde edileceği şekilde tasarlanmaktadır. Güç aktarma mekanizmaları döner kanatlı hava araçlarının genel ağırlığının yaklaşık %10'unu oluşturur. Bu bileşenlerin güç/ağırlık oranını arttırmak için birçok yaklaşım uygulanmıştır.

Güç/ağırlık oranını iyileştirmek için elemanlar ya da tüm sistem için tasarım değişiklikleri ve gelişmiş malzemeler sayesinde önemli iyileşmeler sağlanmıştır. Kompozit malzemeler yüksek dayanımlarının yanında sahip oldukları düşük yoğunlukları ve sönümleme kabiliyetleri nedeniyle birçok yapısal elemanda olduğu gibi dişli çarkların tasarımında da artık iyi bir alternatif olarak görülmektedir. Ortaya çıkarılan hibrit (Çelik-Kompozit malzeme) dişli çarkların döner kanatlı hava taşıtlarında dahi uygulama potansiyeli bulunduğu özellikle NASA Glenn Enstitüsü'nün araştırmalarıyla ortaya çıkmıştır.

Bu çalışmada dişli çarkta diş dışındaki kısımlarda kompozit malzeme (karbon fiber prepeg, cam elyaf) kullanılarak üretilen hibrit dişli çarkın tasarımı ve prototip üretimi gerçekleştirilecektir. Bu bitirme projesinde de yük taşıma kapasitesinde azalma olmadan dişlide %15 ağırlık azaltmanın elde edilmesi hedeflenmiştir.

E.Öneriler, Alınan Dersler ve Gelecekteki Çalışmalar

Proje konusu halen NASA'nın NASA Glenn Enstitüsünün laboratuvarlarında sürdürülen bir araştırma konusudur. Konunun derinliği bir bitirme projesinden daha üst seviyededir. Dolayısıyla konunun lisansüstü öğretimde tez konusu olma potansiyeli bulunmaktadır. Proje konusu bir prototip oluşturmayı zorunlu kılmaktadır. Prototip için gerekli proje bütçesi TÜBİTAK ve sponsor firmalardan talep edilmektedir. Bu süreç proje ekibinin iyi bir proje deneyimi edinmesine katkı sağlasa da proje faaliyetlerinin yürütülmesini de geciktirmektedir. Daha etkin doğrulama ve iyileştirme faaliyetleri için proje konusu kabul edildiğinde TUSAŞ'ın hazır mini bir bütçeyi kullanıma sunması faydalı olacaktır. Proje konusu içerisinde gerekli bilgi ve yeteneklerin bazılarının daha önceki dönemlerinde edinilmemiş olması da proje faaliyetlerinde zaman kaybı yaşanmasına neden olmuştur. Bu konuda da yeni konu ve mühendislik araçlarının öğrenilmesinde lisans öğrenimine ilaveten daha fazla çaba gösterilmesi gerektiği öğrenilmiştir.



İki Boyutlu Aktif/Pasif Akış Kontrolü

İstanbul Teknik Üniversitesi

Makine Mühendisliği

Akademik Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Abdussamet SUBAŞI

Dr. Öğr. Üyesi Sertaç ÇADIRCI

Sanayi Danışmanı

Erdem AYAN, Murat CANİBEK

Lisans Öğrencileri

Oğuzhan UĞUZ, Mustafa DEMİRSÖZ

Furkan ÇAVDAR

A.Problem Tanımı

Transonik hızlarda hava aracı etrafında oluşan şok dalgaları hem dalga sürüklemesine hem de uçuş kararlılığında olumsuz etkilere sebep olmaktadır. Oluşan şok dalgalarının gücü azaltılarak bu olumsuz etkilerin önüne geçilmesi; hava aracının yakıt tüketimini azaltmakta ve uçuş güvenliğini artırmaktadır.

Akış kontrol yöntemleri ile dış akışların davranışı istenilen yönde değiştirilebilmektedir. Akış kontrol yöntemleri enerji harcama durumuna göre pasif veya aktif olarak sınıflandırılmaktadır. Pasif akış kontrol yöntemleri çoğunlukla basit geometrik düzenlemelerden oluşup, tasarım noktası haricinde işletmede iken performans kaybına yol açabilmektedir. Aktif akış kontrol yöntemleri adaptif bir yapıya sahip olup gerekli durumlarda devre dışı bırakılarak uçak dinamiğine etkisi giderilebilmektedir.

Bu çalışmada akış kontrol yöntemleri kullanılarak transonik rejimde uçan hava aracı üzerinde oluşan şok dalgalarının gücünün azaltılması hedeflenmiştir. Bu amaçla projenin birinci aşamasında bir ön çalışma olarak düz levha üzerindeki akışın geribeslemeli kapalı çevrimde aktif akış kontrolü uygulaması yapılmıştır. Projenin ikinci aşamasında ise bir pasif akış kontrol yöntemi olan şok kontrol tümseği yöntemi iki boyutlu kanat profiline uygulanarak transonik hızlarda oluşan şok dalgalarının gücünün azaltılması hedeflenmiştir.

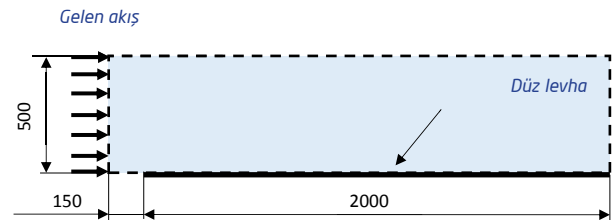
Transonik hızlarda hava aracı etrafında oluşan şok dalgaları hem dalga sürüklemesine hem de uçuş kararlılığında olumsuz etkilere sebep olmaktadır. Oluşan şok dalgalarının gücü azaltılarak bu olumsuz etkilerin önüne geçilmesi; hava aracının yakıt tüketimini azaltmakta ve uçuş güvenliğini artırmaktadır.

Akış kontrol yöntemleri ile dış akışların davranışı istenilen yönde değiştirilebilmektedir. Akış kontrol yöntemleri enerji harcama durumuna göre pasif veya aktif olarak sınıflandırılmaktadır. Pasif akış kontrol yöntemleri çoğunlukla basit geometrik düzenlemelerden oluşup, tasarım noktası haricinde işletmede iken performans kaybına yol açabilmektedir. Aktif akış kontrol yöntemleri adaptif bir yapıya sahip olup gerekli durumlarda devre dışı bırakılarak uçak dinamiğine etkisi giderilebilmektedir.

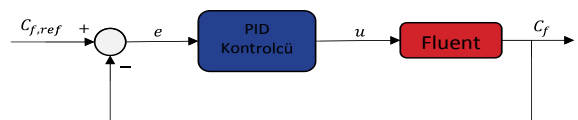
Bu çalışmada akış kontrol yöntemleri kullanılarak transonik rejimde uçan hava aracı üzerinde oluşan şok dalgalarının gücünün azaltılması hedeflenmiştir. Bu amaçla projenin birinci aşamasında bir ön çalışma olarak düz levha üzerindeki akışın geribeslemeli kapalı çevrimde aktif akış kontrolü uygulaması yapılmıştır. Projenin ikinci aşamasında ise bir pasif akış kontrol yöntemi olan şok kontrol tümseği yöntemi iki boyutlu kanat profiline uygulanarak transonik hızlarda oluşan şok dalgalarının gücünün azaltılması hedeflenmiştir.

B.Gerçekleştirilen Araştırma Faaliyetleri ve Uygulanan Yöntem

Bu çalışma iki aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada ses altı hızlarda düz levha üzerinde paralel akış incelenmiştir. Sınır tabakanın türbülanslı akış rejimine geçişi ve yüzey sürtünme kuvvetlerinin kapalı çevrim geribeslemeli aktif akış kontrolü uygulaması yapılmıştır. Uygulamanın hedefi, levha üzerinde sürtünme katsayısı ölçümü alınarak levha sıcaklığının uygun şekilde otomatik olarak ayarlanmasıdır. Uygulama için MATLAB/ Simulink ve Fluent programları kullanılarak sayısal deney düzeneği hazırlanmıştır. Düzenek kullanılarak dinamik sistemin doğrusallaştırılmış modeli elde edilip bu model için PID kontrolcü tasarlanmıştır (Bkz Şekil 1 ve 2). Şekil 2, Simulink ortamında gerçekleştirilmiştir.

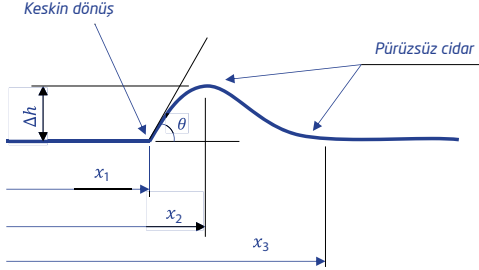


Şekil 1. Birinci Aşama Problemin Akış Hacmi Sınırları



Şekil 2. Oluşturulan Kapalı Çevrimin Blok Diyagramı

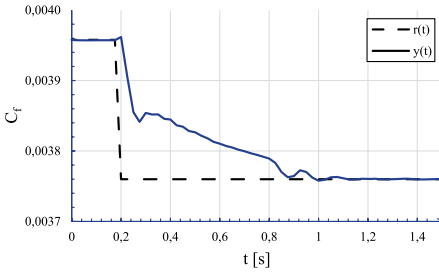
İkinci aşamada ise transonik hızlarda iki boyutlu kanat üzerinde farklı koşullarda oluşan şok dalgalarının gücünün pasif akış kontrolü yöntemi ile azaltılması incelenmiştir. Kullanılan yöntem olan şok kontrol tümseği, oluşan şok dalgasını lambda formuna çekerek şok gücünü azaltmaktadır. Bu etkiyi elde edebilmek için tümseğin hava aracının belirli işletme koşulunda (Mach sayısı ve atak açısı) optimize edilmesi gereklidir. Şok kontrol tümseği geometrisi parametrik olarak ifade edilmiş ve bu parametreler değiştirilerek tümsek geometrisi optimize edilmiştir (Bkz. Şekil 3).



Şekil 3. Şok Kontrol Tümseği Geometrisinin Parametrik Gösterimi

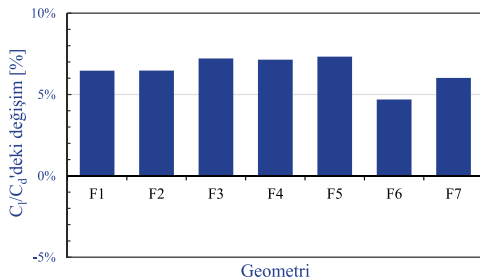
C.Araştırma Sonuçları ve Çıktılar

Tasarlanan PID kontrolcü kapalı çevrimde zamana bağlı akış probleminin HAD çözümlemelerinde kullanılmıştır. Sistemin kapalı çevrim basamak giriş cevabı Şekil 4'te verilmiştir. Görüldüğü üzere sistemin yüzey sürtünme katsayısı, sisteme girilen referansı başarı ile takip edebilmektedir.

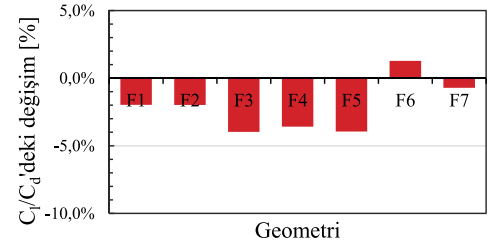


Şekil 4. Geribeslemeli Kapalı Çevrimin Birim Basamak Giriş Yanıtı

Projenin ikinci aşamasının uygulanması sonucunda, farklı işletme koşullarında kanat profiline uygulanan değişik tümsek geometrilerine göre C_l/C_d oranında meydana gelen değişimler hesaplanmıştır. İlgili değişimler, Şekil 5 ve Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 5. İşletme Koşullarında Şok Kontrol Tümseği Geometrilerinin Aerodinamik Performansa Etkisi



Şekil 6. İşletme Koşulları Dışında (Off-Design) Şok Kontrol Tümseği Geometrilerinin Aerodinamik Performansa Etkisi

D.Proje Ekibinin Kazanımları ve TUSAŞ'a Olası Katkısı

Proje ekibi, proje süresince aktif ve pasif akış kontrolü yöntemlerini tanımış ve bunların sayısal olarak uygulamalarını gerçekleştirmiştir. Akış kontrol yöntemlerinin dış akışlara uygulanmasıyla hesaplamalı akışkanlar dinamiği ve sistem dinamiği ve kontrolü alanları arasında çok disiplinli bir çalışma yürütülmüş olup, bu alanlarda bilgi birikimi artırılmıştır.

İncelenen akış kontrol yöntemlerinin uygulanmasıyla havacılık uygulamalarının enerji verimliliği artırılabilir. Bu çalışmada incelenen yöntemler ve literatürde bulunan diğer birçok akış kontrol yöntemleri bu bağlamda TUSAŞ'ın yürütmekte olduğu projelere katkı değer sağlayabilir. Ayrıca çalışmanın birinci aşamasında geliştirilen kapalı çevrim sayısal analiz yöntemi ile kontrol sistemlerinin hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizlerine entegrasyonu sağlanıp daha kapsamlı ve geçerliliği daha yüksek analizler elde edilebileceği düşünülmektedir.

E.Öneriler, Alınan Dersler ve Gelecekteki Çalışmalar

- HAD analizi yapılmış bu uygulamaların doğrulanması ve geliştirilmesi amacıyla deney düzeneği oluşturulup çalışmanın devamı niteliğinde rüzgâr tüneli deneyleri yapılabilecektir.
- Rüzgâr tüneli deneylerinde veya ileride yürütülebilecek bilgisayar deneylerinde deneysel tasarım yöntemleri kullanımı ile tasarım optimizasyonu gerçekleştirilebilir ve elde edilen tasarımların farklı koşullardaki dinamikleri daha detaylı olarak incelenebilecektir.
- Bu projede uygulanan aktif/pasif akış kontrolü yöntemlerine ek olarak literatürde mevcut pek çok yöntemden, projede bulunmayan yöntemlerin de uygulanması gerekli görülmektedir.
- Yapılan çalışma iki boyutlu bir kanat profili üzerinde gerçekleştirildiğinden uygulamanın üç boyutlu bir model üzerinde tekrar edilmesi de projenin geçerliliğini artıracaktır.

İniş Takımı Oleo Pnömatik Şok Emicinin Farklı Orifis Tasarımlarındaki Performans Analizi

İstanbul Teknik Üniversitesi

Makine Mühendisliği

Akademik Danışman

Doç. Dr. Mesut KIRCA

Sanayi Danışmanı

Ahmet TAŞTAN, Berke Cem KOCAAYAN, Özkan OKAN

Lisans Öğrencileri

Ahmet Hakan BOZKURT, Alper CAN, Murat YILMAZ

A.Problem Tanımı

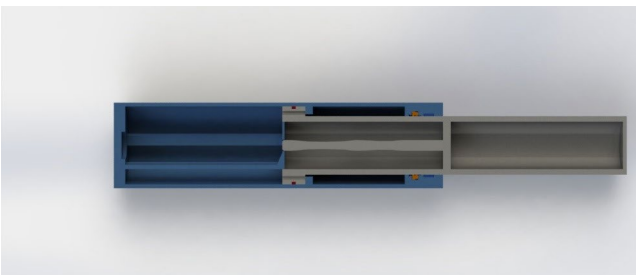
Oleo pnömatik sistemler standart tasarımlar ile birlikte çok yüksek verimlere çıkamamaktadır. Ancak geliştirilen bazı tekniklerle verim %100'e çok yakın seviyelere çıkabilmektedir. Böylece azami verim asgari ağırlık sağlayacaktır. Verimi artırmanın en kısa yolu sistemin içerisindeki oleo yağın geçiş alanını düzenleyerek sönümleme etkisini değiştirmektir.

B.Gerçekleştirilen Araştırma Faaliyetleri ve Uygulanan Yöntem

Ekibin projede araştırma faaliyetleri sürdürülürken en büyük avantajı, aynı konu üzerinde çalışan bir TUSAŞ ekibi ile beraber çalışmasıdır. Böylece yıllardır iniş takımı üzerine çalışılmasının verdiği tecrübe değerlendirilmiş, araştırma faaliyetlerinin merkezine oturtulmuştur. Gerekli literatür kaynakları sağlanmıştır. Dinamik, yapısal ve akış analizleri boyunca da karşılaşılan problemler birincil ağızlardan yardım alınarak çözüme kavuşturulmuştur.

Bilgisayar destekli tasarım ve analiz programlarının kullanılması projenin bel kemiğini oluşturmaktadır. Bu, programların detaylı öğrenilmesini destekleyerek sektöre hazırlık sağlamıştır.

İsterlere göre ilk etapta bazı kabuller yapılarak ön tasarım yapılmıştır. Bu tasarımın birçok noktada sıkıntılı olduğu görülmüştür. Bunlar gerçeğe bağlı olarak düzenlenmiştir. Ayrıca akış ve yapısal analizlerle desteklenerek bazı iyileştirmeler yapılmıştır. Bu düzenlemeler sonrasında yapısal tasarım yenilenmiştir. Genel tasarım Şekil 1'de yer almaktadır.

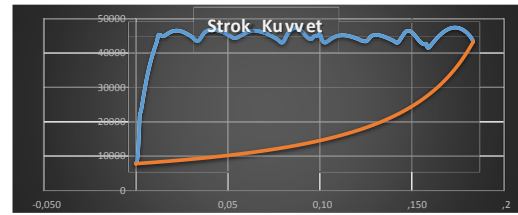


Şekil 1. Genel Tasarım

Titreşim analizi gerçekleştirilerek olası kritik durumdan oldukça emniyetli olduğu görülmüştür.

Ayar çubuğu da üretilebilirlik açısından yenilenmiştir. Farklı orifis tasarımları yapısal ve akış analizi olarak incelenmiştir.

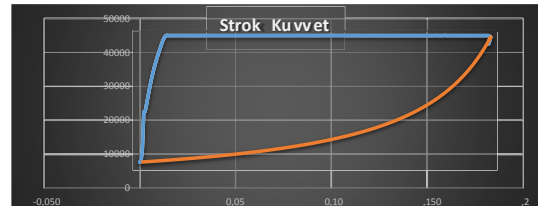
Bu projede amaç azami verime ulaşmaktır. Verim 93.17277 olarak elde edilmiştir. Çeşitli kısıtlara bağlı olarak azami verim Şekil 2'de görüldüğü gibi elde edilmiştir.



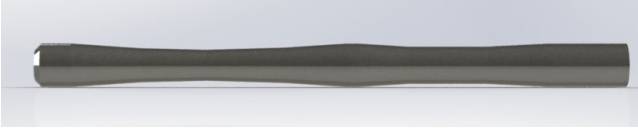
Şekil 2. Azami Verim

C.Araştırma Sonuçları ve Çıktılar

İlk tasarımda dinamik analize göre %97 verime çıkarabilecek ayar çubuğu bulunmuş, ancak imalat zorluklarından dolayı bu doğrusal olmayan ayar çubuğu doğrusallaştırılmaya gidilmiştir. Doğrusallaştırdıktan sonra %93'lere kadar çıkabilmektedir. Şekil 3 ve Şekil 4 sırasıyla ilk tasarım dinamik analiz sonuçlarını ve ilk tasarımı göstermektedir.



Şekil 2. İlk Tasarım Dinamik Analiz Sonuçları



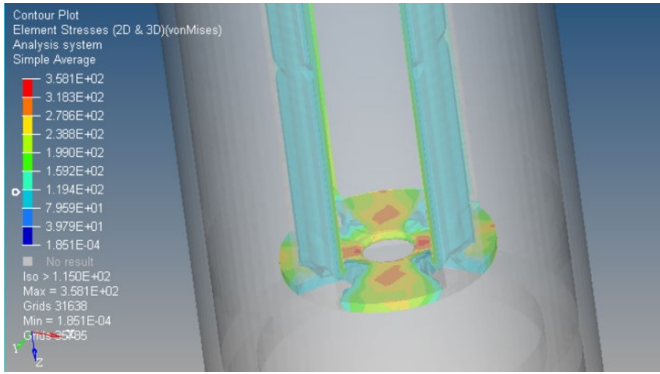
Şekil 3. İlk Tasarım

Yapısal analizler sonucu kalınlıklar azaltılmıştır. Ayar çubuğu kullanılması da iniş takımının verimini artırarak stroku azaltmıştır. Tüm bunlar ağırlıktan kazanç sağlamaktadır. Silindirde 0.95 mm kalınlık olması ve doğrusallaştırılmış ayar çubuğu kullanılması sonucu toplam oleo-pnömatik sistem ağırlığı 11.84 kg olarak ağırlıktan %58 kazanç sağlanmaktadır.

Farklı orifis tasarımları hesaba katılarak bunlar üzerinde akış ve yapısal analiz uygulanmıştır. 3 mm kalınlığındaki orifisin beş farklı tasarımı ortaya konulmuştur. Bu tasarımlardan her iki tarafı da yuvarlatılmış olan orifis yapısal ve akış olarak en uygunu olduğu bulunmuştur.

Tablo 1. Azami Gerilme Değerleri

	Keskin Köşeli	Yuvarlatılmış	Girişi Pahlı	Geniş Yuvarlatılmış	Sivri Köşeli
Azami Gerilme (MPa) (simple ave.)	371	358	408	452	432



Şekil 4. Orifis Tasarımı

D.Proje Ekibinin Kazanımları ve TUSAŞ'a Olası Katkısı

Proje ekibi süreç boyunca kapsamlı bir projeyi sonlandırabilme, farklı disiplinlerin bir arada çalışabilmesi, proje yönetimi, dinamik, yapısal, akış analizleri yapabilme, gerçekleştirilen projenin sunumu yeteneklerini kazanmıştır.

Ülkemizde bu konuda yapılan çalışmalar çok azdır. Bu projenin gerçekleştirilmesi ve raporlanması yalnızca TUSAŞ'a değil ülkemizde faaliyet gösteren diğer havacılık firmalarına da katkı sağlayabilecektir. Bu katkı, projenin konusu doğrultusunda farklı orifis tasarımlarında ve ayar çubuğu kullanılması durumunda karşılaşılabilecek performansın bilinmesi ve azami verimi sağlayan iniş takımının tasarlanması olarak özetlenebilmektedir.

E.Öneriler, Alınan Dersler ve Gelecekteki Çalışmalar

Projede iniş takımının şok emicisi kabataslak olarak tasarlanmıştır. İniş takımının diğer sistemleriyle birlikte bütüncül olarak tasarlanması gerekmektedir. Bu, ayrı bir çalışma konusudur.

İniş takımının sıkışma ve genişleme kısımlarında çok etkin olan geri tepme orifisi bu projenin kapsama alanına girmemiştir. Ancak hava aracının yaylanması ve dolayısıyla olası kazaların önüne geçmek adına şok emicinin önemli bir kısmıdır. Geri tepme orifisi de literatürde çok nadir bulunmaktadır. Geri tepmenin dinamiğiyle ilgili çalışma yapılması gerekmektedir.

Oleo-pnömatik içerisinde yer alan orifis plakasındaki deliğin geometrisine bağlı olarak boşaltım katsayısı değişmektedir. Boşaltım katsayısının da sistem içi kuvvetlere, dolayısıyla verime direkt etkisi vardır. Sistemde ayar çubuğu kullanılması durumunda orifis boşluğu her an değiştiğinden boşaltım katsayısı da değişecektir. Boşaltım katsayısının değişiminin modellenmesi gerekmektedir.

Ayar çubuğu üzerine yerli ve yabancı kaynakların sayısı azdır. Projemizde yapısal olarak bazı kabuller çerçevesinde analizler gerçekleştirilmiştir. Bu kabuller; ayar çubuğunun pistona rijit bağlanması ve malzeme olarak PH13-8Mo kullanılmasıdır. Bu doğrultuda çeşitli testler yapılarak uygun ayar çubuğu malzemesi ve bağlantısı sunulmalıdır.



Kanat Hücum Kenarı Yapısının Kuş Çarpması Durumunda Davranışlarının İncelenmesi

İstanbul Teknik Üniversitesi

Uzay Mühendisliği

Akademik Danışman

Prof. Dr. Zahit MECİTOĞLU

Sanayi Danışmanı

Tanyel ÇAKMAK, Burak AY

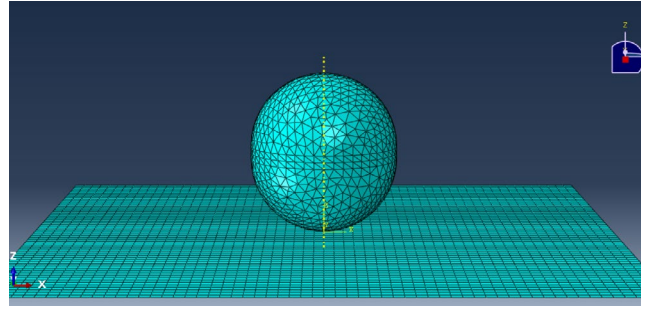
Lisans Öğrencileri

**Kenan ÇAYHAN, Tahsin AKKUŞ, Huri Asena KOL,
Yusuf ÇOLAK, Çağatay SİNAN**

A. Problem Tanımı

Kuş çarpması özellikle kanopi yapıları ile uçak kanatlarının ve helikopter palalarının hücum kenarları yapıları için kritiktir. Çarpma analizi yüksek kinetik enerjinin kısa sürede aktarımını içerdiğinden analiz yöntemleri normal yapısal analizlerden farklıdır, açık (İng. explicit) çözümler ile zamana bağlı benzetim yapılmaktadır. Kuş çarpması, özelleşmiş kuş modellerinin kullanımını gerektirmektedir. Bu lisans bitirme projesiyle, jenerik kanat hücum kenarının, kuş çarpması durumunda farklı kuş tiplerine göre incelenmesi hedeflenmektedir. Projede; (i) kuş modeli doğrulaması ve çözüm yöntemi öğrenme, (ii) kompozit hasar modeli doğrulaması, (iii) kompozit yapıya kuş çarpmasının doğrulanması bitirme projesi öğrencileri tarafından çalışılmıştır.

Cowper-Symonds Yasası kullanılarak modellenmiştir. Plak 600x600x10 mm boyutlarındadır ve AlCu4Mg1 malzemeden yapılmıştır. Plak, boyutu 10 mm olan S4R doğrusal dörtgen kabuk elemanlarla modellenmiştir. Plak ve kuş sonlu eleman modelleri Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Plak ve Kuş Sonlu Eleman Modelleri

B. Gerçekleştirilen Araştırma Faaliyetleri ve Uygulanan Yöntem

1. KUŞ MODELİ DOĞRULAMASI

Bu araştırma faaliyetinde, düz dikdörtgen izotropik plaklara kuş çarpması açık sonlu eleman yöntemiyle sayısal olarak incelenmiştir. Bu çalışmada, yaygın olarak kullanılan aşağıdaki kuş bünye denklemleri kullanılarak analizler yapılmıştır.

i. Elastik-Plastik Katı Cisim Modeli: Bir kopma gerinimi değeri ile birlikte kullanılır, düşük hızlarda iyi sonuç verir. Kuş ABAQUS'de Lagrangian C3D4 doğrusal dört yüzlü elemanlarla modellenmiştir. Kuş hızı 70 m/s alınmıştır.

ii. İzotropik-Elastik-Elastik-Plastik-Hidrodinamik Katı Cisim Modeli: Orta seviye hızlarda kullanılır. Kuş Lagrangian elemanlarla modellenmiştir. Bu modelde polinom şeklinde durum denklemi kullanılmıştır. Kuş hızı 120 m/s alınmıştır.

iii. Murnaghan Durum Denklemli Katı Cisim Modeli: Yüksek hızlar için kullanılır. Kuş Düzgün Parçacık Hidrodinamik (Smooth Particle Hydrodynamics, SPH) ile modellenmiştir. Kuş bünye denklemi olarak Murnaghan durum denklemleri kullanılmıştır. Kuş hızı olarak 120 m/s alınmıştır.

Analizlerde Liu ve arkadaşlarının yaptığı deneysel ve sayısal çalışmadaki kuş, plak ve çarpma özellikleri kullanılmıştır [1]. Plak malzemesinin davranışı,

2. KOMPOZİT HASAR MODELİ DOĞRULAMASI

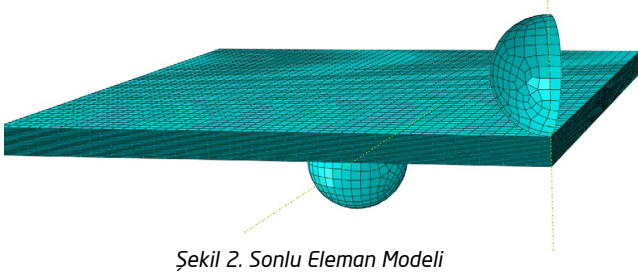
Projenin bu safhasında literatürde mevcut olan bir kompozit plak üzerine kütle düşmesi testi [2] esas alınarak problem ABAQUS yazılımıyla, Dinamik Açık Yöntem kullanılarak, modellenmiş ve sonuçlar test sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Kompozitler için mevcut başarısızlık kriterlerinin deneysel sonuçlarla olan tutarlılığı değerlendirilmiştir.

Makaledeki testte tek yönlü IM7/8552 malzemeden yapılmış, [0/45/90/-45]_{5s}, diziliimli, 40 katmanlı, 200x200x40 mm boyutlarında bir plak kullanılmıştır. Malzeme mukavemet ve elastik özellikleri deney dokümanında verilen tablolardan alınmıştır [2]. Plak 4 adet metal küreyle mesnetlenmiştir. Kompozit plağa çarptırılan cisim 20 mm çaplı, ağırlığı 32.7 gram ağırlıklı ve hızı 59 m/s olan bir küredir.

Plak SC8RT solid elemanlar kullanılarak modellenmiştir. Plağa çarpan cisim ve destek küreleri rijit elemanlarla



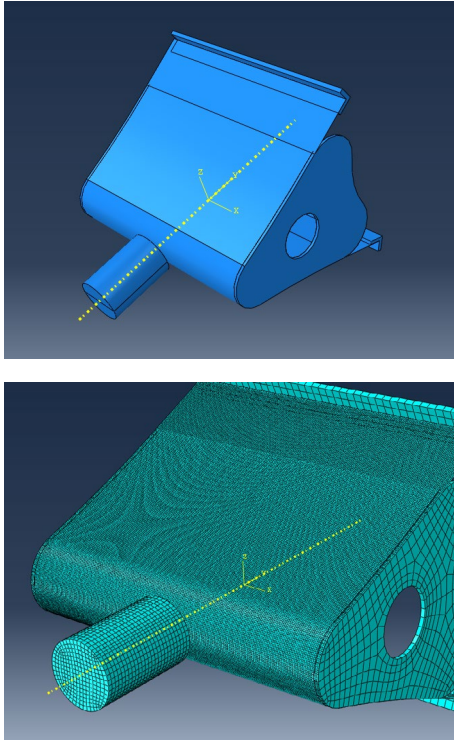
modellenmiştir (Bkz. Şekil 2). Simetri dikkate alınarak kompozit plak ve çarpan cismin dörtte biri modellenmiştir.



Şekil 2. Sonlu Eleman Modeli

3. KANAT HÜCUM KENARINA KUŞ ÇARPMASI

Projenin bu aşamasında Michele Guida'nın doktora tezinde [3] deneysel ve sayısal olarak incelediği kanat hücum kenarı yapısının kuş çarpmasına karşı davranışı ABAQUS/EXPLICIT yazılımı kullanılarak modellenip analiz edilmiştir. Kuş SPH metoduyla modellenmiştir. Hücum kenarı yapısı CATIA V5R21 programı yardımıyla modellenerek ABAQUS'de sonlu eleman modeli oluşturulmuştur (Bkz. Şekil 3).

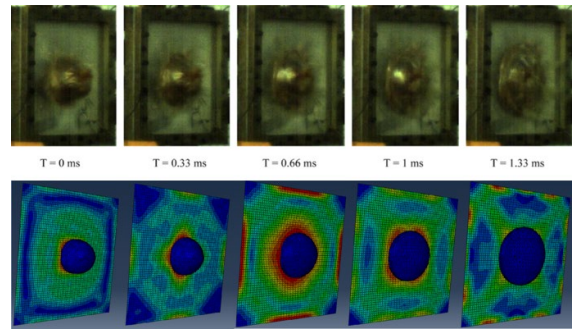


Şekil 3. CAD Modeli ve Sonlu Eleman Çözüm Ağı

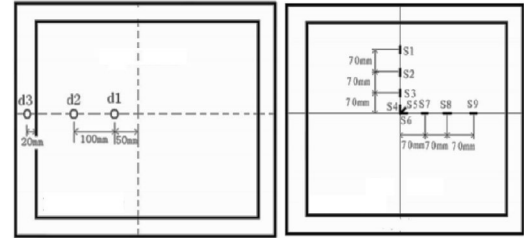
C.Araştırma Sonuçları ve Çıktılar

1. KUŞ MODELİ DOĞRULAMASI

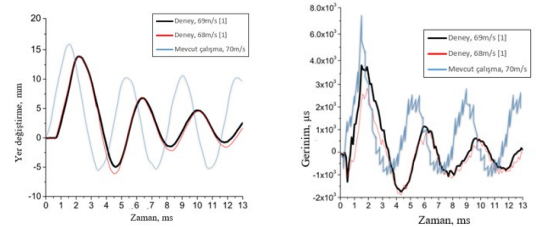
Burada, örnek olarak, sadece Elastik-Plastik Katı Cisim Modeli kullanılarak elde edilen analiz sonuçları sunulmuştur. Test [1] ve gerçekleştirilen simülasyondan çeşitli zamanlarda alınan deformasyon sonuçları Şekil 4'te verilmiştir. Ayrıca Şekil 5'te gösterilen d1 konumundaki yer değiştirme ve S3 konumundaki gerinim sonuçları deneysel sonuçlarla karşılaştırılarak Şekil 6'da sunulmuştur. Deneysel ve sayısal yer değiştirme sonuçları arasında iyi bir uyum görülmektedir. Gerinimin pik değerleri arasında belirgin bir fark vardır. Deney verilerinin alınmasındaki çözünürlük sebebiyle pik değerinin yakalanamamış olabileceği değerlendirilmiştir.



Şekil 4. Test ve Simülasyon Deformasyon Sonuçları



Şekil 5. Yer Değiştirme (Solda) ve Gerinim Duyargalarının (Sağda) Konumları

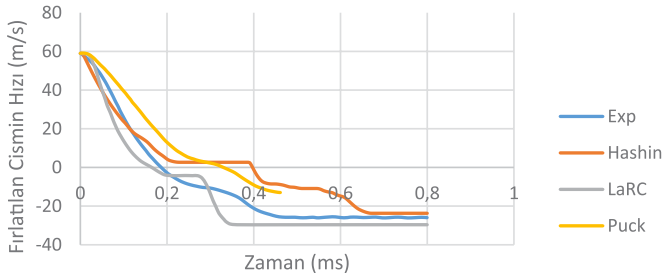


Şekil 6. d1 Yer Değiştirme (Solda) ve S3 Gerinim Sonuçları (Sağda)

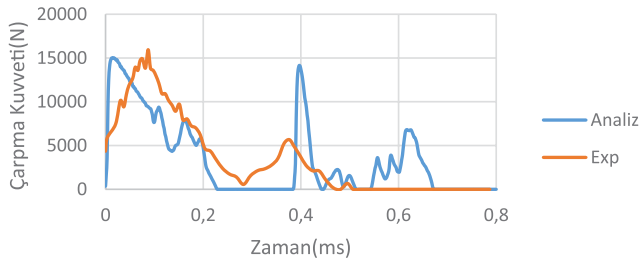
İzotropik-Elastik-Elastik-Plastik-Hidrokinematik Katı Cisim Modeli ve Murnaghan Durum Denklemli Katı Cisim Modeli ile de benzer sonuçlar elde edilmiştir. Elde edilen sayısal sonuçlar deneysel sonuçlarla genel karakter olarak uyumlu; yer değiştirme ve gerinimin pik değerleri testte elde edilenlere oldukça yakındır.

2.KOMPOZİT HASAR MODELİ DOĞRULAMASI

Sonlu eleman modeli ABAQUS Açık (Explicit) çözüm yöntemiyle yapılan analiz sonucunda fırlatılan cismin hız-zaman grafiği Hashin Hasar Kriteri kullanılarak elde edilmiş ve makalede verilen deneysel hız-zaman grafiği sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır (Bkz. Şekil 7). Şekil 8'de ise kuvvet-zaman grafikleri karşılaştırılmıştır. Söz konusu şekillerde, testle elde edilen grafik "Exp" olarak adlandırılmıştır. Şekil 7'deki LaRC ve Puck başarısızlık kriterleri için verilen grafikler makalede LS-Dyna yazılımını kullanarak elde edilen analiz sonuçlarını göstermektedir.



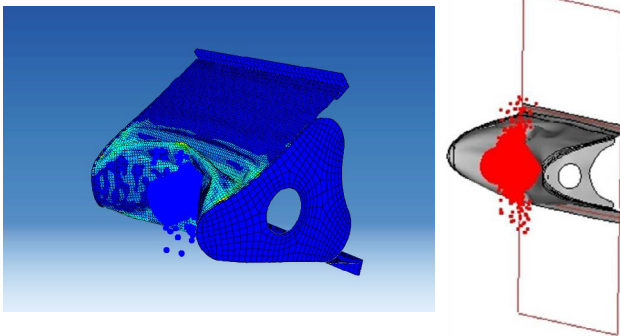
Şekil 7. Hız-Zaman Profili Karşılaştırması



Şekil 8. Kuvvet-Zaman Verileri Karşılaştırması

3.KANAT HÜCUM KENARINA KUŞ ÇARPMASI

ABAQUS Açık (Explicit) çözüm yöntemiyle yapılan kanat hücum kenarı yapısına kuş çarpması analizi sonucunda zamana bağlı deformasyon ve gerilme değişimleri elde edilmiştir. Çarpmadan 2 ms sonra oluşan hasar durumu elde edilerek Guida'nın [3] tezindeki sonuçla karşılaştırılmış ve benzer deformasyon durumu elde edildiği görülmüştür (Bkz. Şekil 9).



Şekil 9. Çarpmadan 2 ms Sonra Oluşan Hasar Durumu:
Bu çalışma (Solda), Guida [3] (Sağda)

[1] Liu, J., Li, Y., ve Gao, X. (2014). Bird strike on a flat plate: Experiments and numerical simulations. International Journal of Impact Engineering, 70, 21-37.

[2] Cui, H., Thomson, D., Eskandari, S., & Petrinic, N. (2019). A critical study on impact damage simulation of IM7/8552 composite laminate plate. International Journal of Impact Engineering, 127, 100-109.

[3] Guida, M., (2008) Study, Design and Testing of Structural Configurations for the Bird-Strike Compliance of Aeronautical Components" Department of Aerospace Engineering University of Naples "Federico II", Naples, ITALY, Doctoral Thesis.

D.Proje Ekibinin Kazanımları ve TUSAŞ'a Olası Katkısı

Bu bitirme projesinde hava aracı yapılarına kuş çarpması olayının ABAQUS/EXPLICIT yazılımı ile modellenmesi ve analizi, çeşitli kuş modelleri, hasar teorileri ve deneysel sonuçlarla doğrulanması, kanat hücum kenarı kompozit yapısına kuş çarpmasının simülasyonu konularında bilgi ve tecrübe kazanılmıştır.

Kompozit uçak yapılarının kuş çarpması vb. darbe yükleri altındaki davranışlarının sonlu elemanlar yazılımları kullanılarak modellenip analiz edilebilmesi ve test sonuçları ile uygun sonuçlar elde edilebilmesi uçak ve helikopter tasarım süreçleri için önemlidir. Bu yeteneğin kazanılması sertifikasyon isterlerinden olan kuş ve dolu çarpmasına karşı yapısal bütünlüğün gösterilmesi için harcanan zaman ve para miktarının azalmasını ve böylece ürün geliştirme maliyet ve sürelerinin azalmasını sağlayacaktır.

E.Öneriler, Alınan Dersler ve Gelecekteki Çalışmalar

Literatürde bulunan testle ilgili makalelerde sayısal modelleme ve analiz için gerekli verilerin tümü bulunmayabilmektedir. Lisans bitirme projesi veya lisansüstü tez çalışması kapsamında İstanbul Teknik Üniversitesi Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi'nde bir TUSAŞ Döner Kanat Teknoloji Merkezi projesi kapsamında kurulan kütle fırlatma sistemi kullanılarak testler yapılabilir. Analizlerde farklı hasar kriterleri ile sonuçlar alınıp değerlendirilebilecektir.

Kargo Taşıma İçin İnsansız Hava Aracı Tasarımı

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Elektrik Elektronik Mühendisliği

Akademik Danışman

Prof. Dr. Hakan ÇEVİKALP

Sanayi Danışmanı

Ersin GÖNÜL

Lisans Öğrencileri

Serhat GÜN, İsmail Kemal ÇİMEN, İrem SATKAN

A.Problem Tanımı

Dünya genelinde hafif ve orta ağırlıklı hava araçlı dağıtım sistemleri birçok alanda her geçen gün daha da önem kazanmaktadır. Market bazında firmalar müşteri kitlelerine kitlesel dağıtım yapmakta, askeri ve sağlık lojistiği alanında gelişmeler yaşanmaktadır. Bu bağlamda hava araçları ile yapılan taşımalar sahada, şehirlerde, fabrikalarda ve kısacası mekânlar arasında taşımada yerini almaya başlamıştır.

Bu bağlamda zaman, maliyet ve iş gücü açısından daha verimli ve akıllı-otonom sistemler altında daha yönetilebilir hale getirilmesi amaçlanarak yükü yerden otonom alabilen Kargo Taşıma İçin İnsansız Hava Aracı (İHA) tasarlanması amacıyla projeye başlama kararı alınmıştır.

Projenin araştırma konusu olarak ise tasarlanan hava aracının yükü yerden otonom bir şekilde alması sırasında iniş senaryosunda yaşanan hassasiyet sorunlarının çözümü olarak sunulan hava araçlarında görsel servolama ve kontrol görülmektedir.

Basit olarak, tasarımı standart hale getirilmiş olan taşıma kutusunun belirlenen konulardan otonom alınması, belirlenen rota üzerinden hedef noktaya ulaşması ve bu noktaya bırakarak teslimatı gerçekleştirmiş olması tasarlanmıştır.

Hava aracı normal şartlarda konum değiştirmek için global konumlandırma sistemi (GPS) ve ataletsel ölçüm birimi (IMU) verilerini kullanır. Ancak bu veriler ile hareket eden bir hava aracı hedeflenen pozisyon değişimi, yapılan denemelerde görüldüğü üzere, +2,-2 metre hata ile gerçekleştirmekte ve böylece yükün alınacağı hedeften saparak iniş yapmaktadır.

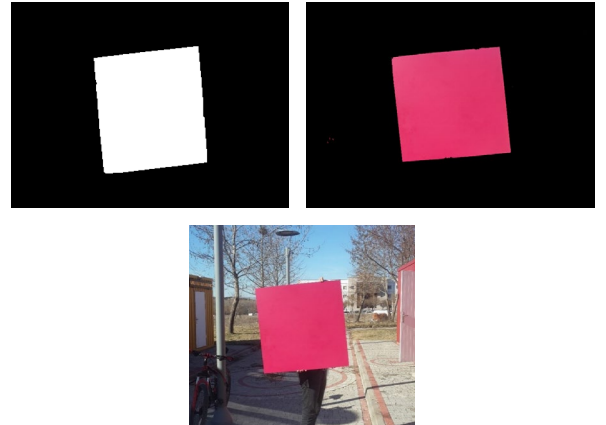
Bu noktada çözüm olarak Yüksek Hassasiyetli Alçalma (high-precision landing) modeli geliştirilmiştir. Bu model ana hatları ile kısaca şuna dayanmaktadır: İnsansız hava aracı faydalı yükü taşıyacak olan taşıma kutusunun belirlenen konumuna, kameranın görüş alanına girebileceği rotada otonom olarak yaklaşmaktadır. Yük kameranın görüş alanına girdikten ve tespiti sağlandıktan sonra irtifa alçalma işlemi tamamlanmaktadır. Görüntü işleme algoritmaları tarafından tespiti yapılan konturun ağırlık merkezinin (yük kutusunun üst yüzeyi)

pikseller (640x480 aralığı içerisinde) türünden verisi döndürülerek hava aracına iletilmektedir. Bu veriler, yük alma sistemi ile yük kutusunun eş merkezli olmasını sağlamak adına, hava aracının 2B düzlemde (x, y) vektörel olarak yönlendirilmesi ve aynı zamanda irtifa alçalması yapılarak yüksek hassasiyet ile yükün üstüne iniş yapması amacı ile kullanılmaktadır.

B.Gerçekleştirilen Araştırma Faaliyetleri ve Uygulanan Yöntem

Proje temel olarak iki temel araştırma konusuna sahiptir. Bunlardan ilki görüntü işleme algoritmalarının geliştirilmesi, ikincisi ise bu algoritmalarla elde edilen verilerin hava aracının kontrolünde anlamlı değerlere dönüştürülmesidir.

Araştırmaların görüntü işleme kısmında yöntem olarak Otsu's Metodu kullanılarak analiz yaklaşımı uygulanmıştır. Bu yöntem temel olarak bir karelik görüntü içerisinde pikselleri ikili sınıflara ayırarak Optimal Bir Renk Eşik Değeri (İng. optimal threshold) belirlemeyi hedeflemektedir. Alınan bu eşik değerleri OpenCV açık kaynaklı yazılımı ile geliştirilen görüntü işleme algoritmasında Renk Segmentasyonu yapılmak üzere kullanılmıştır (Bkz. Şekil 1).

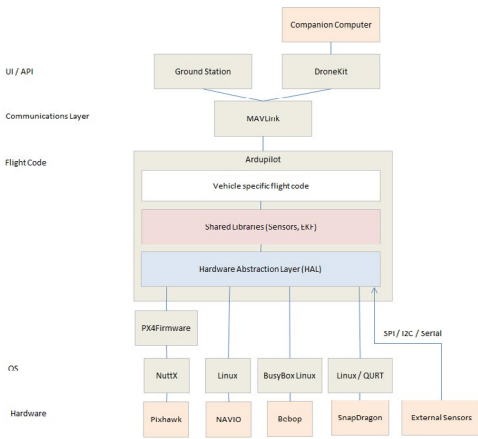


Şekil 1. Renk Segmentasyonu

Alınan bu veriler kullanılarak, hava aracının orijini görseldeki ağırlık merkezi üzerinde konumunu eş merkezli hale getirmek amacı ile yönelimi sağlanmıştır. Hava aracının kontrolü açık kaynaklı yazılım olan ArduPilot ile ve donanımı ise Pixhawk uçuş kontrol kartı tarafından sağlanmıştır.

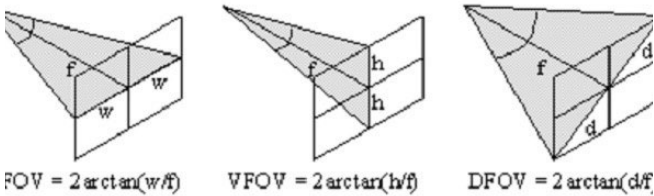
Bahsedilen bu yazılım ve donanım haberleşme protokolü olarak ise MAVLink isimli bir protokol kullanmakta ve yer istasyonu-kontrolcü ya da hava aracı üzerinde bulunan bilgisayar (on-board computer) ile kontrolcü arasında iletişimi sağlamaktadır.

Dronekit isimli diğer bir açık kaynaklı yazılım ile de MAVLink verileri istenilen doğrultuda manipüle edilerek hava aracına istenilen komutlar yollanarak hava aracının kontrolü harici bir algoritma ile sağlanmaktadır (Bkz. Şekil 2).



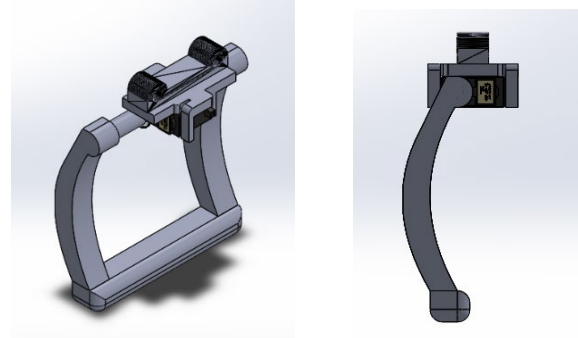
Şekil 2. Algoritma

Projenin son aşamasında görüntüden elde edilen piksel konum bilgileri kameranın görüş alanı (Focus of View-FOV) ve elde edilen görüntünün çözünürlük verisi kullanılarak hava aracı için anlamlı (metrik) yönelim değerlerine dönüştürülmüştür (Bkz. Şekil 3). Bu metrik bilgiler hava aracına yönelim komutu olarak her döngüde bir gönderilmekte ve yük kutusu ile eş merkezli hale gelmesi sağlanmaktadır



Şekil 3. Kamera Görüş Alanı

Hava aracının yükü yerden alabilmesi için tutucu bir mekanizma tasarlanıp kullanılmıştır. Yükü her iki yanından eş zamanlı kapanacak olan kollar sayesinde kolay yakalanabilir ve tasarımın sahip olduğu hassasiyet kısıtlamalarının dışına çıkmayacak sonuçlar meydana getirmiştir (Bkz. Şekil 4).

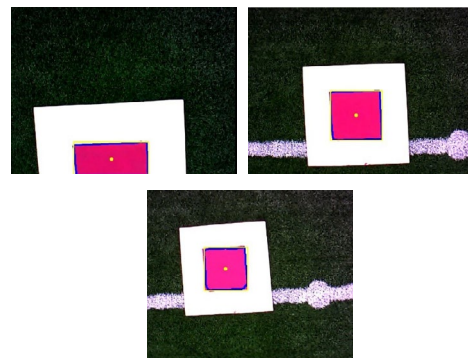


Şekil 4. Tutucu Mekanizma

C.Araştırma Sonuçları ve Çıktılar

Yapılan testler ve çalışmalar sonucunda hava aracının görev tanımı olan verilen bir koordinata yerden otonom kalkış yaparak seyretmesi, ulaştığı koordinatta tanımı yapılan yük alma kutusunu araması, bulması halinde hava aracının orijin noktasını ve yük kutusunun 2B ağırlık merkezini yönelimleri ile eşleştirmesi ve nihayetinde bu noktaya iniş yapması başarı ile tamamlanmıştır.

Yük taşıma sisteminin testleri yapılabilmesi açısından ilk aşamada yükün bulunduğu sistemin üst yüzeyi magenta rengi ile boyanmış, Otsu's Metodu kullanılarak farklı ışık koşulları için eşik değerleri belirlenmiş ve nihayetinde segmentasyon testleri yapılmıştır (Bkz. Şekil 5).



Şekil 5. Segmentasyon Testleri

Şekil 5'te hava aracının kamerasından test uçuşu sırasında alınan görüntü görülmektedir. Algoritma magenta rengi ile oluşan konturu tespit etmiş (mavi çerçeve), bu konturun ağırlık merkezini (sarı nokta) 640 x 480 piksel aralığında veri olarak döndürmüştür.

Bu piksel verilerinin metrik verilere dönüştürülerek hava aracına iletilmesi ve bunların kontrol algoritmasında kullanılması ile de gereken yönelim sağlanmış ve sistemin üzerine başarılı bir şekilde iniş yapılmıştır. Burada oluşan hata payı sistemin yükü almasına engel olacak kadar olmasa da geliştirilmesi gerekmektedir.

Ardından hava aracı yük alma sistemi sayesinde yerde bulunan yük kutusunu alarak, yük bırakma işlemini istenilen bölge için görevini icra edip yükü bırakarak başlangıç noktası kabul edilen bölgeye dönüşünü sağlamıştır (Bkz. Şekil 6).



Şekil 6. Görev İcrası

D.Proje Ekibinin Kazanımları ve TUSAŞ'a Olası Katkısı

TUSAŞ hali hazırda Türkiye'nin yerli havacılık ve uzay sanayiinde birçok hava aracının tasarımı ve üretimini gerçekleştirmektedir. Bu projenin TUSAŞ'ın faaliyet alanlarından biri olan döner kanatlı hava araçlarının, gelecekte yük taşıma maksatlı kullanılması durumunda bahsi geçen problemler ve bunlara getirilen çözümler ve çözüm önerileri ile katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Proje ekibi ise buradan elde edeceği görsel servolama ve kontrol alanında elde edeceği bilgi birikimi ve donanım sayesinde gerek bu projenin devamında yapılabilecek gelişmelerde, gerekse de TUSAŞ bünyesinde oluşabilecek benzeri projelere hizmet edebileceği öngörülmektedir.

E.Öneriler, Alınan Dersler ve Gelecekteki Çalışmalar

Proje kapsamında çözüm olarak sunulan sistem renk segmentasyonuna dayalı olarak hava aracının görsel servolama yöntemi ile yerden alınacak yük üzerine otonom hassas yaklaşımı sunulmuştur.

Bu noktada iyileştirme olarak yerden alınacak yük kutusunun sadece renk ile değil derinlik bilgisi de

alınarak nesne tespiti yapılması ve de yüklerin üst bölgesine QR kod ya da barkod benzeri görsel belirteçler eklenerek yük kutusuna bir kimlik kazandırılması sunulabilecektir. Ardından bu bilgiler bir veri tabanına aktarılarak yük kutusunun alınmasını talep eden ile bağdaştırılabilir. Ayrıca mobil cihazlar için tasarlanacak bir yazılım ile kullanıcıdan konum bilgisi alınarak yük o konumda aranıp, alınarak daha kompakt bir tasarım sağlanabileceği değerlendirilmiştir.

Son olarak da verilen koordinata ulaşımın güvenli ve en kısa yoldan olması açısından graph benzeri yapılar kullanılarak algoritmalar oluşturulabilir ve güvenlik açısından nesneden kaçınma (İng. object avoidance) yöntemleri bu algoritmalara eklenebilecektir.

Projede yük tutma sisteminin mekanik tasarımı geliştirilebilir ve bu sistem iniş takımlarının katlanabilir hale getirilmesi ile farklı boyuttaki yüklere cevap verebilen adaptif bir sistem haline getirilebilecektir.

Denemeler ve test uçuşları boyunca sistemin yöneliminde hassasiyet artırımı ihtiyacı sezilmiştir. Bu noktada hava aracına görüntü tarafından gönderilen verilerin gerçek metrik verilere dönüştürülmesi, hava aracının limitlerinin belirlenmesi ve en küçük adım değerlerinin belirlenmesi gerektiği görülmüştür. Yüksek irtifa ve değişken hava koşullarından kaynaklı oluşan renk yansımalarının da yerdeki yük kutusunu tanımayı zorlaştırdığı, ancak bunun önüne koordinat yakınında alçalma ve dairesel bir arama örüntüsü (İng. circular search-pattern) oluşturularak geçilebileceği görülmüştür.



Kompozit Kanat Tasarım Otomasyonu ve Optimizasyonu Programı Geliştirilmesi

Yıldırım Beyazıt Üniversitesi

Makine Mühendisliği

Akademik Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Fatih GÖNCÜ

Sanayi Danışmanı

Sedat ÖZÖZTÜRK

Lisans Öğrencileri

Metehan ALTAY

Murat ÜNAL

Dilan KUTMARAL

A.Problem Tanımı

Uçak kanatları genel uçak kütlesinin büyük bir bölümünü oluşturmaktadır. Tasarım isterlerine göre üzerinde en çok çalışma yapılan uçak bileşenlerinden biri ise yine kanatlardır. Uçağın ağırlığını dengeleyen ve uçağın havada kalmasını sağlayan kaldırma (İng. lift) kuvveti ve bu kuvvetin ikincil kuvvetleri, uygun geometrik yapılarla kanatlardan elde edilmektedir. Aynı zamanda günümüzde çoğu uçağın yakıt depoları kanatların içerisinde yer almaktadır. Bu durumda, kanadın bütün bu yüklerle karşı koyacak dayanımsal özellikleri göstererek uçağı taşıması ve olabilecek en düşük ağırlıkta olması gerekmektedir.

Bu proje ile verilen bir kanat geometrisi ve yük durumu için parametrik sonlu elemanlar modeli kullanılarak kompozit kanat optimizasyonu yapan bir MATLAB programının geliştirilmesi amaçlanmaktadır.

Üretim nedenlerinden dolayı tabakada (laminat) simetri sağlanmalı ve fiber açısı olarak belirli açılar kullanılmalıdır. Bu durum nedeniyle problem karışık tamsayı mühendislik tasarım problemine evrilmiştir.

Karşılaşılabilecek en önemli problem optimizasyon süresi olup fonksiyon hesaplama süresini minimuma indirilecek şekilde çalışmalar devam etmektedir

B.Gerçekleştirilen Araştırma Faaliyetleri ve Uygulanan Yöntem

Kompozit yapılar üst üste yığılan ince katmanlı malzemelerden (plies) ve bu katmanları bir arada tutmak için kullanılan epoksi gibi yapıştırıcı malzemelerden oluşmaktadır. Her katman çok küçük çaplardaki fiberlerden oluşmakta ve bu fiberler farklı açı ve doğrultularda olabilmektedir. Yapıştırıcı fiberlere destek olarak, yükün fiberler arasında dağıtılmasını sağlamaktadır.

Fiberlerin dayanımı serildiği yönde en yüksektir; bu yöne dik olan yönde ise en düşüktür. Tasarımcının amacı verilen

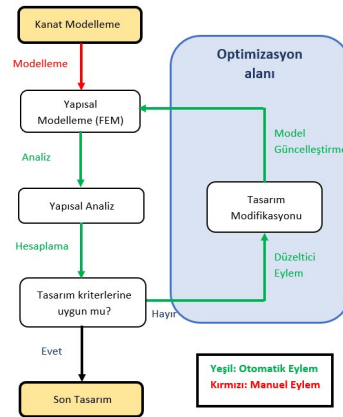
yük durumuna göre en iyi performansı gösterecek uygun katman sayısını ve fiber açılarını bulmaktır. Böylece, yapının ağırlığı asgari düzeye indirilmiş olacaktır. Buna bağlı olarak problemin çözüm taslağı Tablo 1'de gösterilmiştir

Tablo 1. Çözüm Taslağı

Optimize Edilmek İstenen	Değişkenler	Sınırlamalar
Ağırlık	Katman Sayısı	Kanat Ucu Yer Değiştirmesi <18 mm
	Fiber Açısı	Failure Index < 1
	Katman Malzemesi	Ağırlık < İlk Ağırlık

Akış Şeması

Problemin çözümü için belirlenen genel akış şeması Şekil 1'deki gibidir.

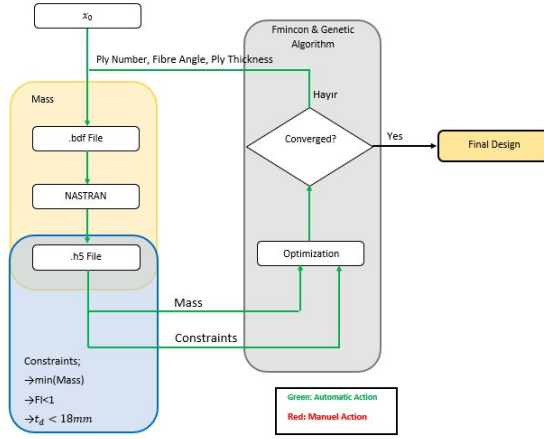


Şekil 1. Genel Akış Şeması

Detaylandırılmış akış şeması Fmincon fonksiyonu ve Genetik Algoritma için Şekil 2'deki gibidir.

İlk aşamada PATRAN kullanılarak kanat modelinin uygun sonlu elemanlar modeli elde edilmiştir. Oluşturulan ilk BDF dosyası katman parametrelerinin bulunduğu PCOMP satırına kadar iki parçaya bölünüp MATLAB'a tanıtılmıştır. MATLAB'da PCOMP satırında bulunan katman malzemesi, katman kalınlığı ve fiber açısı tasarım

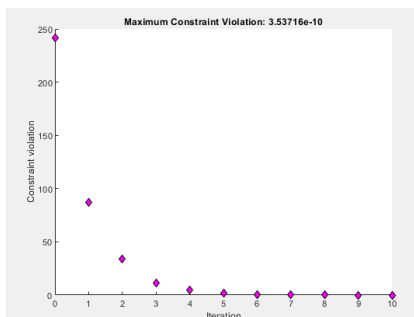
parametreleri olarak optimizasyona tanıtılmıştır. BDF dosyası, NASTRAN çıkış dosyasını MATLAB'la entegreli olan HDF5 formatında almak ve BDF dosyasındaki kanat ağırlığı, eleman "failure index" değerlerini daha uygun şekilde almak üzere tekrar düzenlenmiştir. NASTRAN'daki analiz süresini kısaltmak için gereken sadece maksimum değerleri hesaplama işi ve optimizasyon sürecinde arka planda MATLAB ve NASTRAN'ın çalışmaması için MATLAB'da gerekli kod düzenlemeleri yapılmıştır. FMINCON ve genetik algoritma için en uygun algoritma özellikleri tanımlanmıştır. Genetik algoritmada istenilen belirli parametre değerlerini sağlamak için kod düzenlenmiştir. HDF5 dosyasından kısıtlamalar için kanat ucu yer değiştirmesi, maksimum "failure index" ve ağırlık değerleri MATLAB'a okutularak kısıtlamalar her iterasyon için optimizasyon algoritmasına tanıtılmıştır. Her konfigürasyonda simetriyi sağlamak için kodlar düzenlenmiş ve katman sayısı arttıkça tasarım parametrelerinin de ona göre artıp ek optimizasyonlar yapılması sağlanmıştır.



C.Araştırma Sonuçları ve Çıktılar

C.1 FMINCON

İlk denemede optimizasyon algoritmasının ve FMINCON algoritmasının tanımlanan optimizasyondaki karakteristiğini anlamak için kalınlık ve açı parametreleri serbest bırakılarak tek katmanda optimizasyon yapılmıştır. Şekil 3'te görüleceği üzere tanımlanan başlangıç katman kalınlığını ve fiber açısını kısıtlamaları sağlayacak şekilde optimize ederek 10 iterasyonda lokal minimum parametrelerini bulmuştur.

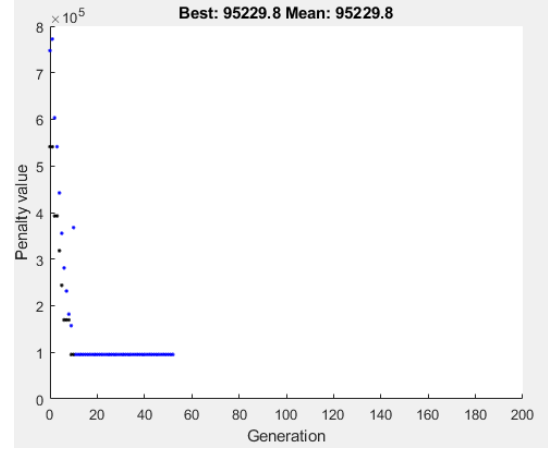


Şekil 3. Fmincon Tek Katman ve Serbest Parametre Sınırlama İhlal ve İterasyon Optimizasyon Grafiği

Akabinde 4 katmanlı simetrik tabaka (laminat) optimize edilmiştir. FMINCON en üst ve en alt katmanı kalınlaştırarak diğer katmanları minimum tutmuştur. Bu durum kanat ağırlığını beklenenden daha fazla çıkmasına neden olmuştur. Ayrıca FMINCON asıl problemdeki belirli fiber açılarına (0,45,90,-45), karbon kumaşa ve önceden reçine edilmiş cam epoksiye ait sabit kalınlık değerlerinin verilmesine izin vermemektedir. Bu yüzden genetik algoritma tercih edilmiştir

C.2 Genetik Algoritma

İlk durumda FMINCON ile karşılaştırmak amacıyla katman kalınlığı ve fiber açısı belirli değer aralığında tanımlanarak optimizasyon yapılmıştır. Şekil 4'te görüldüğü gibi algoritma, her 6 popülasyonun (fonksiyon hesaplamasının) en verimli (elit) çocuğunu kullanarak bir yeni jenerasyon oluşturmuş ve global minimum parametre değerlerini bulmuştur. Penaltı değeri objektif fonksiyonu (ağırlık) ve sınırlama ihlallerinin toplamına eşittir.



Şekil 4. Genetik Algoritma Belirli Parametre Değerlerinde Ağırlığın ve Sınıflamaların Değişiminin Jenerasyonlara Göre Değişim Grafiği

Akabinde, tanımlanan proje gereksinimlerini sağlamak için tasarım parametreleri katman malzeme özellikleri ve fiber açısı belirli aralık değerleri olarak tanımlanmış ve katman kalınlığı, katman malzemesi seçimine ait katman kalınlığını tanımlayacak şekilde belirtilmiştir. Optimizasyon algoritması, çift simetrik tabakadan (laminat) her durum ve her katman için fiber açısını ve malzeme seçimini optimize ederek kısıtlamaları sağlayana kadar tabakadaki katman sayısını attırmak şeklinde planlanmıştır. Bu durumda her katman için optimize edilmesi gereken tasarım parametresi sayısı artmaktadır. Ayrıca tabakada simetrinin sağlanması için tek ve çift katmanlı tabaka konfigürasyonlarını optimizasyon algoritması sağlamaktadır (örneğin [0/+45/90]s ve [0/+45 s). Optimizasyon süresi ortalama 40 dakika sürmektedir ve bu süreyi azaltma çalışmaları devam etmektedir.

D.Proje Ekibinin Kazanımları ve TUSAŞ'a Olası Katkısı

Proje süresince proje ekibi üniversite-sanayii işbirliğini görme, problemlere mühendis bakışı ile yaklaşma, teorik bilgileri gerçek hayatta kullanma, grup çalışması ve görev paylaşımı gibi konularda ciddi kazanımlar elde etmiştir. Ayrıca, NASTRAN ve MATLAB programlarında var olan yetkinliklerini de önemli derecede arttırmıştır.

Proje çıktısının TUSAŞ tarafından Şimşek İnsansız Hava Aracı'nın kanat optimizasyonunda kullanılması amaçlanmaktadır. Ayrıca bu proje yapılacak küçük değişikliklerle, verilen herhangi bir yapı geometrisi ve yük durumunda yapıların kütle optimizasyonu için de kullanılabilir.

E.Öneriler, Alınan Dersler ve Gelecekteki Çalışmalar

NASTRAN input dosyasının MATLAB ile parametrik hale getirilmesi hızlı bir şekilde geniş bir parametre aralığı taranarak sonuç elde edilmesine olanak sağlamaktadır.

Optimizasyon algoritmalarına (fmincon, ga, vs) doğru ayarların verilmesi çözümün yakınsaması ve en iyi çözümü elde etmede büyük öneme sahiptir. Bu çalışmada optimizasyon probleminin çözümünde MATLAB optimizasyon toolbox'unda bulunan fmincon ve ga algoritmaları kullanılmıştır. Gelecekteki çalışmalarda pattern search, multiobjective optimizasyon vb. algoritmalar denenebilecektir. Ayrıca NASTRAN'ın kendi içindeki optimizasyon modülü fonksiyonları uyarlanarak probleme uygun hale getirilmeye çalışılabilecektir.

Gelecekteki çalışmalara öneri olarak spar konumunu ve sayısını ağırlığa göre optimize etmek için PCL (Patran Command Language) kodları istenilen şekilde düzenlenip MATLAB koduna entegre edilebilecektir.



Küresel Konumlandırma Sistemi (GPS) Olmadan Çoklu Görüntü Birleştirme ile Hava Aracı Konumlandırma Küresel Konumlandırma Sistemi (GPS) Olmadan Çoklu Görüntü Birleştirme ile Hava Aracı Konumlandırma

Gazi Üniversitesi
Elektrik-Elektronik Mühendisliği

Akademik Danışman

Prof. Dr. Özgül SALOR-DURNA

Sanayi Danışmanı

Yasemin DALĞIRAN

Lisans Öğrencileri

İsmail BAYDOĞAN, Yunus Emre AKINCI

A.Problem Tanımı

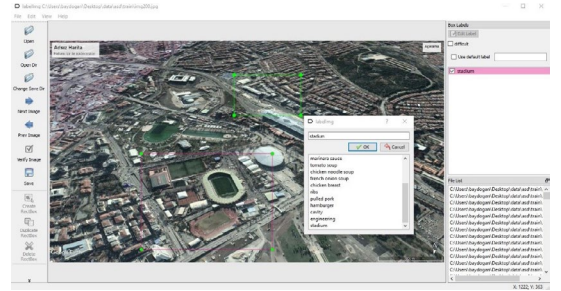
Bilindiği üzere hava araçlarında konum verisi gerek durumsal farkındalığın sağlanması gerekse operasyonel olarak görev icrası açısından olmazsa olmaz bir veridir. Hava araçlarında bu veri birincil kaynak olarak Küresel Konumlama Sistemi (GPS) kullanılarak veya Ataletsel Seyrüsefer Sistemi ile Küresel Konumlama Sistemi ortak çözümü ile elde edilir. Küresel Konumlama Sistemi çalışmadığı görev ortamında konum bilgisi Ataletsel Seyrüsefer Sisteminden karşılanır. Bu sistemlerin çalışma doğası gereği zaman geçtikçe konum hatası artmakta, belli bir süre sonra konum hatası görev icrasını gerçekleştiremeyecek duruma gelmektedir. Bu nedenle literatürde uçakta bulunan veya platform dışındaki sensörler kullanılarak Ataletsel Seyrüsefer Sistemi konum iyileştirilmesi yapılmaktadır. Bu çalışmada, kullanılan sensörlere ek olarak derin öğrenme ile görüntü işleme yapılarak konum tespitinde bulunacak sistem geliştirilmesi amaçlanmıştır. Alınan kamera görüntüleri eğitilmiş veri setinde daha önce öğretilmiş olan görüntülerle eşleştirilecektir. Tanımlı görüntülerin konumları bilindiği için her eşleşme bir konum bilgisi sağlayacak bu sayede Küresel Konumlama Sistemi (GPS) ve Ataletsel Seyrüsefer Sistemi ortak çözümüyle elde edilen konum bilgisi doğrulanmış olacaktır. Çalışmanın hedeflediği amaçlar aşağıda sırasıyla belirtilmiştir:

- Uçuş rotası oluşturulması,
- Sistemin görüntüleri alması,
- Alınan görüntülerin veri tabanındaki görüntülerle eşleştirmesi ve konum bilgisi vermesi,
- Kamera görüntülerinden alınan konum bilgisinin doğruluğunun GPS ile doğruluğunun karşılaştırılması ve
- Konum bilgisinin kullanıcıya iletilmesi.

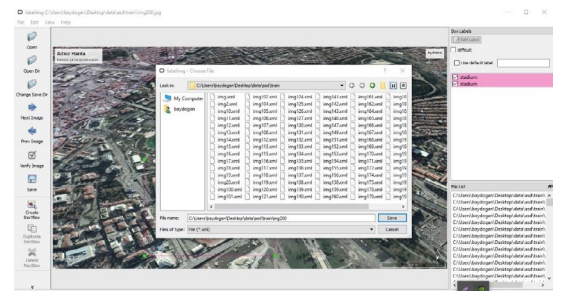
B.Gerçekleştirilen Araştırma Faaliyetleri ve Uygulanan Yöntem

Projede açık kaynak kod ve uydu görüntüleri ile çalışılmıştır. Uygulanan yöntem Derin Öğrenme (Ing. Deep Learning) yöntemi olup açık kaynak kodlu birçok filtre ile uygulama yapılmıştır. Derin öğrenme yöntemleri gelişmekte olan bir yöntem olması sebebiyle birçok sürümü mevcuttur. Kullanılan donanım

yeterliliği (Grafik Kartı) sebebiyle Tensorflow 1.12 sürümü ile çalışılmıştır. Uygulanan filtreler arasında en yüksek doğruluk oranına sahip olan FasterRCNN filtresi ile çalışılması uygun görülmüştür. Araştırmalar ve simülasyon uçuları ile F-16 tipi savaş uçaklarından görüntüler Google Earth Pro uygulamasından ortalama 3.5-4 km irtifadan yüksek kaliteli görüntüler alınarak dataset oluşturulmuştur. Alınan görüntüler farklı tarih, saat ve mevsimlerin görüntülerini içermektedir. Oluşturulan dataset labellmg programı ile etiketlenmiş ve etiket bilgileri xml formatında kayıt altına alınmıştır. Kayıt altına alınan tüm etiketler eğitim datalarına dönüştürülmüş ve yaklaşık 18000 step ile eğitim model çıktıları alınmıştır (Bkz. Şekil 1 ve Şekil 2).



Şekil 1. Labellmg Etiket Oluşturulması



Şekil 2. Labellmg Etiket Kaydedilmesi

Montaj Hattı Operasyonlarının Paralel Çok İşçili Dengelenmesi

Konya Teknik Üniversitesi

Endüstri Mühendisliği

Akademik Danışman

Doç. Dr. İsmail KARAOĞLAN

Sanayi Danışmanı

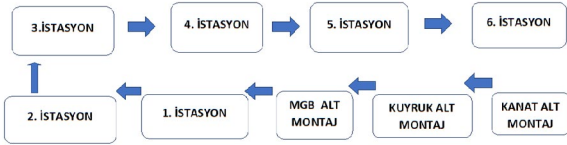
Ezgi İÇİK

Lisans Öğrencileri

Sümeyye AŞVEREN, Şevval GÜLEN, Zeynep DÜNDAR

A.Problem Tanımı

Hat akışı mevcut olan T129 ATAK Helikopteri montaj hattında boş beklemleri ve verimsizlikleri azaltmak amacıyla hat dengeleme teknikleri kullanılarak montaj hattının dengelenmesi, problemin genel tanımıdır (Bkz. Şekil 1). Montaj hattı dengeleme problemleri, montaj hattında yerine getirilecek görevlerin aralarındaki öncelik ilişkileri ihlal edilmeden, belirli bir performans ölçütünü eniyileyecek şekilde istasyonlara atanmasını sağlamaktadır. Bu problemin hedefi olarak, üretilen T129 ATAK Helikopter miktarının artırılması belirlenmiştir.



Şekil 1. Hat Akışı

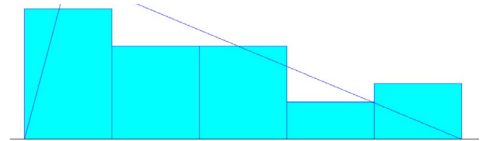
Problemin çözüm sürecinde montaj hattı dengeleme problemlerinin temelini oluşturan öncelik diyagramının şirket bünyesinde mevcut olmaması ve istasyonlar arasında yerleri değiştirilen işlerin operasyon kodlarının revize edilmemesi bir takım zorluklara neden olmuştur. Ayrıca montaj hattı içerisindeki parça bekleme sürelerinin fazla olması nedeniyle operasyon boş bekleme zamanlarının büyük olması ve operasyon sürelerinin stokastik yapısı nedeniyle veri analizlerinin karmaşıklaşması problemin sonuç değerinde olumsuz yönde etkiler bırakmıştır. Bu durumların giderilmesi neticesinde çok daha iyi sonuçlar elde edilmesi öngörülmektedir.

B.Gerçekleştirilen Araştırma Faaliyetleri ve Uygulanan Yöntem

Problem çözümünün gerçekleştirilebilmesi için öncelikli olarak montaj hattının genel yapısı analiz edilmiştir. Literatürde montaj hatlarını sınıflandırmada kullanılmakta olan kategoriler altında hattın yapısının; manuel iş yapılı, tek modelli, stokastik işlem zamanlı ve düz montaj hattı olduğu tespit edilmiştir. Problemin

amacı doğrultusunda belirli bir istasyon sayısı için çevrim zamanını minimize eden performans ölçütü, TIP-II olarak belirlenmiştir. Operasyonların işlem zamanları kuruluş bünyesinde kaydedilmiş mevcut verilerden elde edilmiştir. Operasyonların işlem sürelerinin üretilmiş tüm helikopterler için farklı olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum, sürecin stokastik bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir. Bu verilerin ilerleyen süreçlerde sağlıklı bir şekilde kullanılabilmesi için istatistiksel analizler gerçekleştirilmiştir. İstatistik literatüründe yer alan çeşitli dağılımlar zaman verileri üzerinde uygulanmış, güven aralıkları karşılaştırılarak güvenlik düzeyi açısından en yüksek sonucu veren "üçgen (İng. triangular) dağılım" seçilmiştir. Her operasyon için 2018 yılının ilk uçağı olan 27. uçak ile veri girişi tamamlanmış olan 56. uçak arasındaki veriler ele alınmıştır. Her bir operasyonun zaman verileri Arena Input Analyzer programı ile incelenmiş, %95 güvenlik düzeyinde en kötü (pesimistik), en iyi (optimistik) ve en olası (İng. most-likely) değerleri belirlenmiştir. T15100 operasyon zamanlarının triangular dağılımı, Şekil 2'de görülmektedir.

Distribution Summary	
Distribution:	Triangular
Expression:	TRIA(2, 4.6, 28)
Square Error:	0.018161
Chi Square Test	
Number of intervals	= 3
Degrees of freedom	= 1
Test Statistic	= 0.812
Corresponding p-value	= 0.397



Şekil 2. T15100 Operasyon Zamanlarının Triangular Dağılımı

Montaj hattı dengeleme problemlerinin ana girdilerinden biri olan öncelik diyagramı titizlikle oluşturulmuştur. Bu çalışma sırasında, öncelik diyagramının genel akışının oluşturulması amacıyla her istasyonda gerçekleştirilen iş grupları tespit edilmiştir. Ardından istasyon bazında operasyonların detaylı incelemelerine başlanarak sorumlu mühendislerden detaylı bilgi edinilmiş, e-operasyon ve e-oil üzerinden operasyonların uçak üzerinde gerçekleştirildiği bölgeler, operasyonların spesifik özellikleri ve operasyonlar arasındaki öncüllük-ardıllık ilişkileri tespit edilmiştir. Bu bilgiler ışığında Microsoft Visio programı kullanılarak öncelik diyagramı oluşturulmuştur. Oluşturulan diyagram istasyonların sorumlu mühendisleri tarafından teyit edilmiş ve diyagram üzerinde gerekli revize işlemleri yapılmıştır.

Hat dengeleme probleminin gereksinimi olan zaman analizleri ve öncelik diyagramı çalışmalarının tamamlanmasının ardından çözüm aşamasına geçilmiştir. Montaj hattında bulunan toplam operasyon sayısının çok fazla olması ve verilerin stokastik yapısı nedeniyle, sezgisel yöntemlere başvurulmuştur. Montaj hattı dengeleme problemleri konusunda geniş çaplı literatür taraması yapılmıştır. Bu çalışmanın sonucunda mevcut problemin çözümüne yönelik sezgisel ve meta-sezgisel yöntemler incelenmiştir. Problemin çözümü için kullanılan algoritmalar C# programlama dili kullanılarak kodlanmıştır. Algoritmada kullanılacak olan veri dosyaları oluşturulmuş, montaj hattında çalışan işçi sayıları belirlenmiş, helikopter üzerindeki paralel çalışılabilecek bölge sayısı tespit edilmiştir. Algoritma adımları aşağıda belirtilmiştir.

Adım1: Operasyonların isimlerini, zamanlarını ve öncelik ilişkilerini içeren veri dosyalarını okut.

Adım2: Operasyonların isimlerini, zamanlarını ve öncelik ilişkilerini esas alarak ikili yapıda öncelik matrisi oluştur.

Adım3: 5 bölgede paralel çalışan işçi tanımlaması yap.

Adım4: Öncelik matrisi doğrultusunda atanabilir işler listesi oluştur.

Adım5: LPT(En Uzun İşlem Süresi - Longest Processing Time) yöntemini uygula.

Adım5.1: Atanabilir işler listesinde en uzun operasyon süresine sahip işi seç.

Adım5.2: Seçilen işi toplam iş yükü en küçük olan işçiye ata, her işçi için iş sırası listesi oluştur.

Adım6: İş sırası listesine yapılan her iş atamasının ardından Adım4'e dön, atanabilir işler listesi sıfır oluncaya kadar tekrarla.

Adım7: Başlangıç istasyon sayısını belirt ve çevrim zamanının alt sınırını hesapla.

Adım7.1: İş sırası listelerindeki işlerin toplam zamanı en büyük olan değeri başlangıç istasyon sayısına böl.

Adım7.2: Maksimum operasyon zamanını bul.

Adım7.3: Adım7.1 ve Adım7.2 değerlerinden en büyük olanını seç.

Adım8: Atanacak işlerin olasılıklarını hesapla.

Adım8.1: İş sırası listesindeki işlerin pesimistik, optimistik ve en olası değerlerini kullanarak işleri sırasıyla kümülatif topla.

Adım8.2: Kümülatif toplamın çevrim zamanını geçme olasılığı < 0.05 ise işleri mevcut istasyona ata.

Adım8.3: Kümülatif toplamın çevrim zamanını geçme olasılığı > 0.05 ise yeni istasyon sayısını bir arttır ve mevcut işi ata.

Adım9: Adım8.3'te açılan son istasyon sayısı $>$ başlangıç istasyon sayısından çevrim zamanını arttır ve Adım8'e dön.

Adım10: Son istasyon sayısı = başlangıç istasyon sayısı ise dur.

Algoritma adımları sonucunda sezgisel yöntem kullanılarak bir sonuç elde edilmiştir. Sezgisel yöntemlerin bir üst seviyesini oluşturan meta-sezgisel yöntemler ile sonuç iyileştirilmeye devam edilmektedir.

C.Araştırma Sonuçları ve Çıktılar

Projenin birincil çıktısı öncelik diyagramıdır. Öncelik diyagramı operasyon sayısı nedeniyle büyük bir boyuta sahip olduğu için burada ayrıca paylaşılmamıştır.

Tablo 1'de sütun boyunca uçağın paralel çalışılabilir bölgelerine atanan işlerin listesi mevcuttur. Harness operasyonları için farklı öncelik ilişkisi çalışması gerçekleştirildiği için T212 istasyonunun operasyonları operasyon listesine dâhil edilmemiştir. Satır boyunca uçağın paralel çalışılabilir bölgeleri sıralanmıştır: Aft, center, forward, pilot ve copilot. Tabloyu analiz etmek gerekirse, 4. işin 0. bölgede gerçekleştirilen ilk iş olduğu görülmektedir.

Gerçekleştirilen çalışma sonucunda bölgeler arasında dengeli bir iş dağılımı sağlanmıştır:

0. 1021.78

1. 1049.37

2. 1023.17

3. 1019.33

4. 1405.18

Mevcut çalışmada çevrim zamanı ise 351.43 saate karşılık gelmektedir.

Bu sonuç montaj hattı dengeleme problemine ait sonucun yalnızca başlangıç çözümünü oluşturmaktadır. Çözüm boyunca hat yapısına uygun çeşitli özellikler algoritmaya eklenerek çevrim zamanının en küçüklenmesi ile ilgili çalışmalar sürdürülecektir. Bu çalışma meta-sezgisel yöntemler kullanılarak elde edilen on binlerce çözüm arasından en iyi olanının seçilmesi ile sağlanacaktır.

İSTASYONLAR					
	1	2	3	4	5
1	4	3	0	2	1
2	33	7	6	8	36
3	27	34	18	11	32
4	17	38	37	43	39
5	44	20	22	75	49
6	21	19	25	122	42
7	35	50	13	129	28
8	10	30	23	106	41
9	16	5	45	146	29
10	15	123	14	144	9
11	46	147	74	124	31
12	26	145	128	85	47
13	125	76	126	87	24
14	141	172	132	114	48
15	148	63	138	81	40
16	151	115	140	54	12
17	77	82	151	154	127
18	86	78	112	90	131
19	53	68	55	97	143
20	108	66	52	186	142
21	79	155	92	158	130
22	61	93	159	164	139
23	62	98	150	117	59
24	95	149	170	163	113
25	160	157	204	153	80
26	111	91	185	187	56
27	116	73	91	167	60
28	107	110	184	67	65
29	162	161	197	89	94
30	171	165	198	109	152
31	208	64	206	117	156

İŞLER					
	1	2	3	4	5
32	174	88	84	120	
33	209	121	58	119	
34	176	69	104	70	
35	168	175	99	72	
36	212	205		71	
37	177	188		83	
38	178			173	
39	179			166	
40	181			167	
41	102			207	
42	103			211	
43	105			180	
44	100			182	
45	135			196	
46	137			186	
47	136			194	
48	101			195	
49	96			190	
50				192	
51				193	
52				183	
53				201	
54				202	
55				199	
56				200	
57				210	
58				213	
59				203	
60				133	
61				134	
62				57	

D.Proje Ekibinin Kazanımları ve TUSAŞ'a Olası Katkısı

T129 ATAK montaj hattının karmaşık operasyonel süreçleri ve yüksek operasyon sayısı ile bir Endüstri Mühendisliği öğrencisinin analitik bakış açısını geliştirmesi ve çözüm yöntemine giderken probleme uygun algoritmalar geliştirerek süreçlere farklı yaklaşımlarda bulunmasına neden olması projenin önemli kazanımlarındandır. Literatürde paralel-çok işçili, stokastik işlem zamanlı, Tip II montaj hattı dengeleme problemleri ayrı ayrı ele alınmakla birlikte hepsinin bir arada bulunduğu bir hat dengeleme çalışmasına rastlanmamaktadır. Proje ekibi olarak literatürde karşılaşılmayan bu probleme farklı çalışmalardan esinlenerek yeni bir çözüm yöntemi oluşturmak ve bunu uygulamaya dönüştürmek kazanımlarımız arasında yer almaktadır. Ayrıca öncelik diyagramının oluşum aşamalarının gereklilikleri nedeniyle operasyonların detaylarıyla incelenmiş olması teknik bilgiyi artırmıştır. Bu diyagram, şirket içerisinde farklı bölümlerde, farklı süreçlerin yönetilmesinde şirkete katkı sağlayacaktır. Şirket bünyesinde çalışılmakta olan "Line of Balancing" projesinin önemli girdilerinden bir tanesi olacaktır.

E.Öneriler, Alınan Dersler ve Gelecekteki Çalışmalar

Proje sürecinde yapılan gözlemler sonucunda T12080 operasyonunun, iş yapısının çok sayıda tekrarlı hareketten meydana gelmesi, yüksek operasyon zamanları oluşturmakta ve süreç verimliliğini azaltmaktadır. Bu operasyonun robotik teknolojilerin devreye alınarak hızlandırılması, T212 istasyonun toplam zamanını küçültecek, hattın çevrim zamanının düşürülmesinde etkin rol oynayacaktır. Hat dengeleme çalışmalarının temel öğelerinden biri, operasyon zamanlarıdır. Operasyonların zamanlarının sağlıklı bir şekilde kayıt altında tutulması için bölünebilir işlerin ayrı operasyon adları altında kartları oluşturulmalıdır. Örneğin T15390 operasyonunun %80'i T213 istasyonunda ve %20'si T215 istasyonunda tamamlanmaktadır. Bu ve benzeri operasyonlar hem ilgili operasyon zamanının hem de istasyon zamanlarının hesaplanmasında hatalara sebep olmaktadır. İstasyonu değiştirilen işlerin operasyon kodu için gerçekleştirildiği istasyona alınmalıdır. Montaj hattındaki operasyonların işlem zamanlarındaki orantısız değişkenliğin nedenlerinin araştırılması ve giderilmesi ile ilgili bir çalışma gerçekleştirilebilir. Öncelik diyagramı referans alınarak şirket içi ve şirket dışı kaynaklardan temin edilecek ürünler planlanırken kilit oluşturacak operasyonlar tespit edilip, ardından tedarik ile ilgili iyileştirme projeleri yapılabilir.



Sıcak Şekillendirmeye Uygun Kalıp Malzemesi Seçimi

Yıldız Teknik Üniversitesi

Makine Mühendisliği

Akademik Danışman

Prof. Dr. Ayşegül AKDOĞAN EKER

Sanayi Danışmanı

Hakan AYDIN, Cahit Sertaç AYDOĞAN, Emre EROL

Lisans Öğrencileri

Ahmet Emin ÜSTÜNDAĞ, Hasan Kerim HIZAL, Hatice AKDURSUN

Mehmet Burak ARICI

A.Problem Tanımı

Proje kapsamında, Ti6Al4V ve CP2 titanyum alaşımlarının 700°C sıcaklıkta şekillendirilmesinin çalışılması istenmektedir. Bu amaçla aşağıdaki faaliyetler amaçlanmıştır:

- Operasyon sıcaklıklarında çalışacak ve maruz kalacağı mekanik zorlamalara dayanabilecek takım malzemelerinin belirlenmesi,
- Kalınlığı en çok 2 mm olan titanyum parçaların izotermal sıcak şekillendirilmesinde kullanılan kalıp malzemelerinde basım sayısına bağlı olarak meydana gelebilecek yüzey oksitlenmesi, iç gerilmeler, ısıl yorulma çatlakları ve çarpılma hatalarının gözlemlenmesi ve tespiti halinde önlemlerin alınması ve
- Titanyum ile takım arasında genleşme farkından dolayı meydana gelebilecek mikro çatlak oluşumu, çarpılma ve kalıp yapışma sorunlarının irdelenmesi.

B.Gerçekleştirilen Araştırma Faaliyetleri ve Uygulanan Yöntem

Projede bu aşamada uygulanan yöntem ve araştırma teknikleri aşağıda özetlenmiştir:

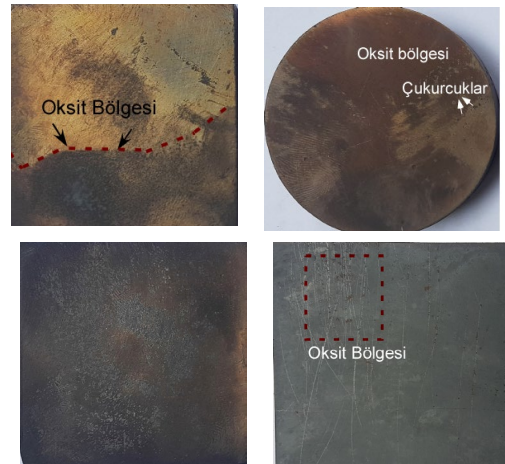
- Titanyum ve alaşımlarının sıcak şekillendirilme yöntemi ve buna uygun kalıp malzemesi seçimi için geniş yayın taramasının yapılması,
- Dünyada bu yöntem üzerine yapılan araştırma ve geliştirmelerin incelenmesi,
- Yöntem için malzemelerin ve malzeme performanslarının belirlenmesi,
- Sertlik ve yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesi ve makro-mikro yapı incelemesi ve
- Sonuçların irdelenmesi.

Bu amaçla; şekillendirme sıcaklığı, 500-700 °C arasında olduğundan yüksek sıcaklık altında sertliklerini ve mukavemetlerini yitirmeyen, mekanik ve termal şoklara karşı dirençli, tungsten veya molibden içeren sıcak iş takım çelikleri ile östenitik paslanmaz çelikler

literatür taraması sonrasında seçilmiştir. İç piyasadan kolaylıkla temin edilen 7 farklı sıcak iş takım çeliği (1.2343, 1.2343 ESR, 1.2344, 1.2365, 1.2367, 1.2367 ESR ve 1.2714) ve 3 farklı paslanmaz çelik çeşidi (304, 310S, 316) belirlenmiştir. Her bir çelikten 50x50x10 mm boyutlarında 3'er adet numune kesilmiştir.

Her bir numune; yüzeyi kesme sonrasında yüzeyde oluşan izler P60 zımpara ile sırasıyla zımparalanmıştır. Ölçme hassasiyeti 0,0001 ölçüm hassasiyetli terazide korozyon hızı hesabı için ağırlıkları ölçülmüştür. Profilometre ile yüzey pürüzlülüğü ölçülmüş ve yüzeylerden stereo-mikroskop ile resimler çekilmiştir. Oda sıcaklığında Rockwell B yöntemiyle sertlikleri ölçülmüştür.

Titanyum şekillendirme operasyonlarının 700 °C'de ortalama 2-3 saat sürmesi sebebiyle numuneler 700 °C sıcaklıktaki fırında sırasıyla 30, 60, 120 dakika olarak bekletilmiş, her ısıl proses sonrası ölçümler yapılmış ve yüzeyde oluşan oksit tabakası her bir proses için ayrı ayrı gözlemlenmiştir (Bkz. Şekil 1). Kalıp malzemesindeki değişikliği (oksit oluşumu, pürüzlülük vb.) daha hızlı görebilmek adına ısıtma-soğutma süreci 3 kez tekrarlanmıştır. Isıl proses süreçleri devam etmektedir.



Şekil 1. 3. Proses Sonrası Dört Farklı Kalıp Malzemesine Ait Makro Görüntüler. a. AISI 304, b. AISI 310s, c. AISI 316 ve d. H13

Fırınlama sonrası her bir numune için aşağıdaki proses uygulanmıştır:

- Oda sıcaklığına soğutulduktan sonra yüzeylerin makro kontrolü yapılmış,
- Yüzeyde oluşan oksit tabakaları temizlendikten sonra hassas terazide tartılmış,
- Ortalama ve sınır yüzey pürüzlülük değerleri sırasıyla Ra ve Rz profilometre ile ölçülmüş,
- Stereo-mikroskopta 30x ölçeğinde makro görüntüleri alınmış,
- Sertlik değerleri ölçülmüş ve
- Numuneler bir sonraki proses için fırına konulmuştur.

C.Araştırma Sonuçları ve Çıktılar

Çalışmada kullanılan kalıp malzemelerin kimyasal bileşimleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Numunelerin Kimyasal Bileşimleri

DIN AISI-SAE	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V	Ni
1.2343 X37CrMoV5-1 H11	0,33 0,41	0,80 1,20	0,25 0,50	0,025	0,005	4,80 5,50	1,10 1,50	0,30 0,50	-
1.2343 ESR X38CrMoV5-1	0,38	1,0	-	0,025	0,005	5,3	1,3	0,4	-
1.2344 X40CrMoV5-1 H13	0,35 0,42	0,80 1,201	0,25 0,50	0,025	0,005	4,80 5,50	1,20 1,50	0,85 1,15	-
1.2365 32CrMoV12-28 H10	0,28 0,35	0,10 0,40	0,15 0,45	0,025	0,005	2,70 3,20	2,50 3,00	0,40 0,70	-
1.2367 X38CrMoV5-3	0,35 0,40	0,30 0,50	0,30 0,50	0,025	0,005	4,80 5,20	2,70 3,20	0,40 0,60	-
1.2367 ESR X38CrMoV5-3	0,37	0,4	0,5	0,025	0,005	5,0	3,0	0,6	-
1.2714 55NiCrMoV7	0,50 0,60	0,10 0,40	0,60 0,90	0,025	0,005	0,80 1,20	0,35 0,55	0,05 0,15	1,50 1,80
1.4301 X5CrNi18-10 304	0,05 0,08	0,75	2,0	0,045	0,03	18,0 20,0	-	-	8,0 10,0
1.4845 X8CrNi25-21 310S	0,08 0,10	1,5	2,0	0,045	0,015	24,0 26,0	-	-	19,0 22,0
1.4401 X5CrNiMo17-12-2 316	0,05 0,08	0,75	2,0	0,045	0,03	16,0 18,0	2,0 3,0	-	10,0 14,0

700 C'de farklı sürelerde ısıtılan numunelere ait sertlik, ağırlık kaybı ve pürüzlülük değerleri Tablo 2'de toplu olarak verilmiştir.

Tablo 2. Numunelerin Yüzey Pürüzlülük, Sertlik Değerleri ve Korozyon Hızı

Numune Adı	Yüzey Pürüzlülüğü Değişimi Isıl proses sonucu		Korozyon Hızı (mm/yıl)
	Başlangıç Durumu	Son Durum	
1.2343	0,58075 1	,5816 5	,839130247
1.2343 ESR	0,364	1,6472 8	,835526031
1.2344	0,568	1,2222 1	,179580484
1.2365	0,7195 1	,8492 5	,711111645
1.2367	0,84125 1	,1228 8	,046613495
1.2367 ESR	0,85125 1	,4764 1	42,7571413
1.2714	0,77875 2	,6072 2	,551222209
1.4301/304	0,45575 0	,546 0	
1.4825/310S	0,22725 0	,2326 0	
1.4401/316	0,2025 0	,8828 0	

Isıl prosesler öncesi ortalama yüzey pürüzlülük değerleri (Mahr GmbH Göttingen, Almanya) yüzey pürüzlülük cihazı ile rastgele 5 farklı yerden ölçülmüştür. Ortalama yüzey pürüzlülük değerini 0,8'den küçük olması için metalografik yüzey hazırlama işlemlerine tabii tutulmuştur. Numunelerin ortalama

yüzey pürüzlülük değerleri ısıl proses sayısı ile birlikte arttığı gözlemlenmiştir.

Şu ana kadar yapılan ısıl prosesler sonucunda yapılan deneylerden elde edilen veriler ışığı altında aşağıdaki değerlendirmeler yapılmıştır:

- Isıl proses sayısı arttıkça AISI 304, AISI 310S ve AISI 316 paslanmaz çelikler hariç numunelerin yüzeylerinde oluşan oksit miktarlarının artışına bağlı olarak da yüzey pürüzlülüğünün de arttığı, ancak sertlik değerlerinde belirgin bir değişiklik olmadığı görülmüştür.
- Isıl prosesler sonucunda H13 yüzeyinde diğer sıcak takım çeliklerine göre daha az oksit oluştuğu görülmüştür.
- İç piyasada bulunabilme ve maliyet dikkate alındığında sırasıyla; H13, AISI 304, AISI 310S ve AISI 316 malzemelerin kalıp malzemesi olarak seçimi uygun bulunmuştur.
- Deneysel çalışmalar devam etmekte olup, bitirme tezinde yapılan deneylerle ilgili daha detaylı sonuçlar verilecektir.
- Projede çalışan lisans öğrencilerinin bitirme tezleri ve proje kapsamında elde edilen veriler ile hazırlanacak ulusal ve uluslararası bildiriler proje çıktıları olarak verilebilecektir.

D.Proje Ekibinin Kazanımları ve TUSAŞ'a Olası Katkısı

Proje ekibi uyumlu bir şekilde çalışarak titanyum alaşımlarının sıcak şekillendirilmesi ve şekillendirme için gerekli olan kalıp malzemesi seçimi hakkında bilgi kazanımı elde etmiş ve elde edilen sonuçlar ile bitirme tezi tamamlanmıştır.

TUSAŞ'ta titanyum alaşımlarının sıcak şekillendirilmesinde kullanılacak kalıpların imalatı için uygun kalıp malzemesi seçimine yönelik yayın araştırması ve deneysel çalışmalar yapılarak bilgi altyapısı oluşturulmuştur.

E.Öneriler, Alınan Dersler ve Gelecekteki Çalışmalar

- Numunelerin soğuma hızına bağlı olarak malzeme karakterizasyonu araştırılabilecektir.
- Sıcak şekil verme kalıplarındaki aşırı ısınmanın engellenmesi ve kalıp ömrünün arttırılması için kalıp gövdesi geliştirilmesi önerilmektedir.
- Belirlenen kalıp malzemesinden hazırlanan 100x130x70mm boyutlarındaki kalıplar içerisine 60x60mm boyutunda 2 mm kalınlığında Ti parça konularak torklu civata ile sıkılarak, yük altında oluşabilecek ısıl yorulma çatlakları incelenecektir.
- Sıcak şekillendirme sırasında malzeme ve takım arasında meydana gelebilecek yapışmaların engellenmesi için literatürde yer alan grafit süspansiyonu ve bor nitrid yağlayıcılarla ilgili araştırmalar yapılacaktır

Termal Kızılötesi Sinyal Azaltmaya Yönelik Malzeme Tasarımı, Sentez ve Karakterizasyonu

İstanbul Teknik Üniversitesi

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği

Akademik Danışman

Dr.Öğr.Üyesi Nuri SOLAK, Prof.Dr. Mustafa K. ÜRGEN,

Prof.Dr. M. Kürşat KAZMANLI

Sanayi Danışmanı

Dr. M. Kağan ÇAKIR

Lisans Öğrencileri

Gamze KAYA, Yıldız Berçin BAHÇE, Ahmet KESKİN,

Erdem Recep DEMİRCAN

A.Problem Tanımı

Farklı platformlarda meydana gelen kızılötesi (termal) radyasyon nedeniyle platformların algılayıcı sistemler tarafından tespiti ve sonrasında takibi gerçekleşmektedir. Geliştirilecek kızılötesi düşük görünürlük sağlayan kaplama ve boyaların kullanımını, bu platformların tehdit olarak algılanma ihtimalinin azaltılması hedeflenmektedir. Bu tür IR boyalar hakkında literatürde sınırlı çalışma mevcuttur ve ticari ürünlere ulaşım kısıtlıdır. Proje ile bu amaca yönelik pigment geliştirilmesi hedeflenmiştir.

B.Gerçekleştirilen Araştırma Faaliyetleri ve UygulananYöntem

Proje kapsamında incelenen çalışmalara ait literatür özeti aşağıda sunulmuştur.

Modern askeri teknolojiye; kızılötesi takip sistemleri, düşman uçağı ve ortam arasındaki kızılötesi radyasyon farkını baz alarak uçağın yerini belirleyip takip etme esasına dayanmaktadır. Motor çıkışındaki ısı salınımı, yüksek hızlarda meydana gelen burun ve kanat hücum bölgeleri ile atmosfer arasında meydana gelen sürtünme etkisi, uçağın kızılötesi radyasyon yayılımına neden olmaktadır. Sıcaklığın 900 K değerine kadar ulaştığı sıcak bölgelerde 3 - 5 µm dalga boyundaki kızılötesi yayılım, takip sistemlerini etkinleştirerek uçağın yerinin belirlenmesine neden olmaktadır. Görece daha düşük sıcaklıktaki bölgeler ise 8 - 12 µm bandında yayılım ile takip sistemlerini harekete geçirmektedir. Stefan-Boltzmann yasasına göre kızılötesi yayılım yüzey sıcaklığının dördüncü kuvveti ile artmaktadır. Stefan-Boltzmann yasası Eşitlik 1'de verilmiştir:

$$E = \sigma T^4$$

E= Birim alandan yayılan toplam radyasyon enerjisi

σ = Stefan-Boltzmann sabiti ($5,6696 \times 10^{-8} \text{ W-m}^{-2}\text{K}^{-4}$)

T = Sıcaklık ($^{\circ}\text{K}$)

Yarı iletken metal oksitler artan sıcaklıkla beraber yüksek termal kararlılık ve iletkenlik göstermektedir. Dolayısıyla bu tür malzemelerin, yüksek sıcaklıkta düşük kızılötesi yayılımı gösteren dolgu malzemesi olarak kullanılmaları yönünde çalışmalar son dönemde yoğunlaşmıştır. Kızılötesi yayılımı etkileyen ana faktör malzemenin iletkenliğidir (iyonik iletkenlik). Bu nedenle malzemelerin iletkenliğini artırmak kızılötesi yayılımını düşürmeye olanak sağlamaktadır. Metal oksitleri katkılandırmak, iletkenliklerini artırma yollarından en verimli olan yöntemdir. Bu ve ekibi farklı katkılandırma miktarının 3-5 µm dalga bantlarındaki kızılötesi yayılım üzerindeki etkilerini sistematik olarak incelemiştir. Kızılötesi yayılımın sıcaklık artışıyla azalması, elektrik iletkenliğinin artırılmasına bağlanmaktadır. Katkılandırma molalitesi $x = 0,2$ olan tozun, test sıcaklığı 600 °C olduğunda en düşük kızılötesi yayılım değeri olan 0,21'i gösterdiği bulunmuştur [2].

Bununla birlikte yakıt hücrelerinde elektrolit iletkenliğini artırmak için kullanılan CeO₂, nadir toprak elementlerinden Sm ve Gd katkılandırılması ile maksimum iletkenliğe ulaşmıştır. Çalışmada, Sm+3 ve Gd+3 iyonları ayrı ayrı ve birlikte katkılandırılıp CeO₂'in 500 °C'ye kadar iletkenliği ölçülmüş en iyi iletkenlik Ce_{0,85}Gd_{0,15}-ySmyO_{1,925} bileşiğinde ölçülmüştür [3].

Yapılan literatür araştırması sonucunda Gd+3, Sm+3, Y+3 ile ayrı ayrı ve eş katkılandırılmış CeO₂ sentezine karar verilmiştir. Sol-jel yöntemiyle üretilen katkılandırılmış CeO₂ tozuna kalsinasyon işlemi yapılmıştır. Kalsinasyon işlemi sonrasında XRD analizi yapılmıştır. XRD analizi gerçekleştirilen tozlar sinterlenmiştir. Ardından sinterlenen numunelerin oda sıcaklığında FT-IR analizleri yapılmıştır. Ayrıca eş



katkılandırmanın yayınıma olan etkisinin incelenmesi amacıyla CeO₂'ye Gd³⁺ ve Sm³⁺ ile eş katkılandırılması yapılmıştır.

Gaussorgues, G. (1994). Thermal Emission by Matter. In Infrared Thermography (ss. 11-60). Springer, Dordrecht.

Bu, H., Liu, C., Xu, G., Jiang, Y., Guo, T., & Zhang, J. (2018). The low infrared emissivity of Ce_{1-x}YxO_{2-x/2} samples at high-temperature contributed by enhanced conductivity. In MATEC Web of Conferences (Vol. 238, p. 03002). EDP Sciences.

Wang, F. Y., Wan, B. Z., & Cheng, S. (2005). Study on Gd³⁺ and Sm³⁺ co-doped ceria-based electrolytes. Journal of Solid State Electrochemistry, 9(3), 168-173.

Katkılandırma molalitesi $x = 0,2$ olan tozun, test sıcaklığı 600 °C olduğunda en düşük kızılötesi yayılım değeri olan 0,21'i gösterdiği bulunmuştur [2].

Bununla birlikte yakıt hücrelerinde elektrolit iletkenliğini artırmak için kullanılan CeO₂, nadir toprak elementlerinden Sm ve Gd katkılandırılması ile maksimum iletkenliğe ulaşmıştır. Çalışmada, Sm³⁺ ve Gd³⁺ iyonları ayrı ayrı ve birlikte katkılandırılıp CeO₂'in 500 °C'ye kadar iletkenliği ölçülmüş en iyi iletkenlik Ce_{0,85}Gd_{0,15}-ySm_yO_{1,925} bileşiğinde ölçülmüştür [3].

Yapılan literatür araştırması sonucunda Gd³⁺, Sm³⁺, Y³⁺ ile ayrı ayrı ve eş katkılandırılmış CeO₂ sentezine karar verilmiştir. Sol-jel yöntemiyle üretilen katkılandırılmış CeO₂ tozuna kalsinasyon işlemi yapılmıştır. Kalsinasyon işlemi sonrasında XRD analizi yapılmıştır. XRD analizi gerçekleştirilen tozlar sinterlenmiştir. Ardından sinterlenen numunelerin oda sıcaklığında FT-IR analizleri yapılmıştır. Ayrıca eş katkılandırmanın yayınıma olan etkisinin incelenmesi amacıyla CeO₂'ye Gd³⁺ ve Sm³⁺ ile eş katkılandırılması yapılmıştır.

[1] Gaussorgues, G. (1994). Thermal Emission by Matter. In Infrared Thermography (ss. 11-60). Springer, Dordrecht.

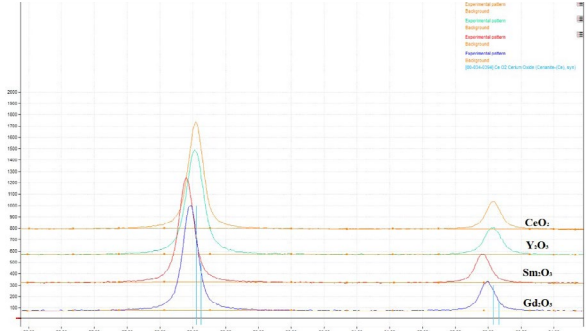
[2] Bu, H., Liu, C., Xu, G., Jiang, Y., Guo, T., & Zhang, J. (2018). The low infrared emissivity of Ce_{1-x}YxO_{2-x/2} samples at high-temperature contributed by enhanced conductivity. In MATEC Web of Conferences (Vol. 238, p. 03002). EDP Sciences.

[3] Wang, F. Y., Wan, B. Z., & Cheng, S. (2005). Study on Gd³⁺ and Sm³⁺ co-doped ceria-based electrolytes. Journal of Solid State Electrochemistry, 9(3), 168-173.

C.Araştırma Sonuçları ve Çıktılar

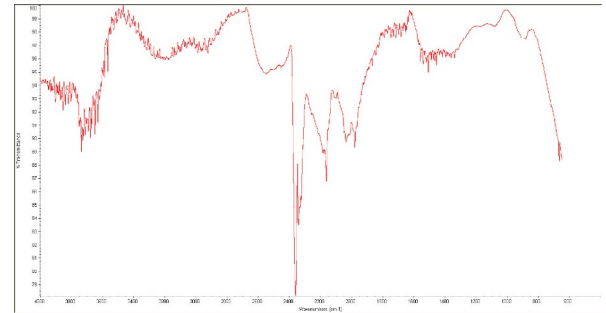
Kalsinasyon sonrası yapılan X-Işınları Difraksiyonu (XRD) analizi sonucunda CeO₂ baz alındığında katkılandırma sonucu katkı malzemesinin iyonik yarıçapına göre difraksiyon piklerinde kaymalar

meydana gelmiştir. Ancak bu kaymaların derecesi düşüktür. Ce⁴⁺ ile katkı malzemelerinin iyonik yarıçapları farklı olduğu için yapıda latis distorsiyonu olmuştur. Seryum dioksit difraksiyon piklerinin dışında farklı bir pik oluşmamıştır. Başarılı bir katkılandırma gerçekleştirilmiştir (Bkz. Şekil 1).

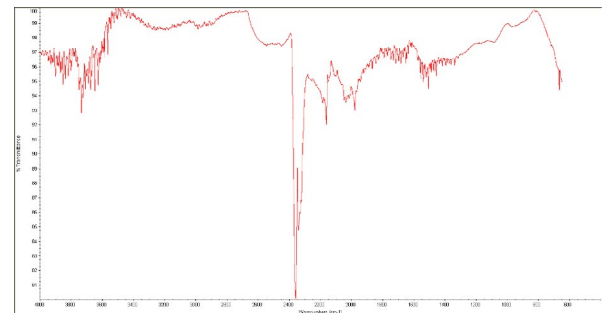


Şekil 1. XRD Analizi Sonuçları

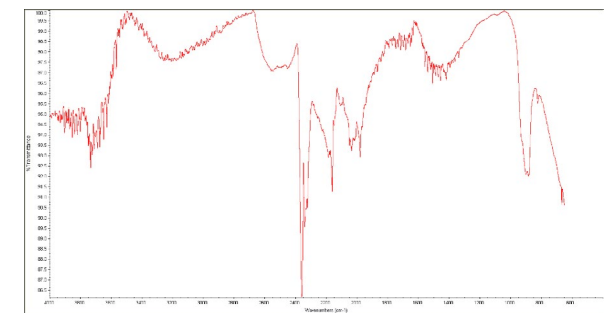
XRD analizden sonra sinterlenen numunelerin oda sıcaklığında FT-IR analizlerinin sonuçları Şekil 2, Şekil 3 ve Şekil 4'te görülmektedir. 3-5 µm ve 8-12 µm dalga boyu aralığında numuneler arasında en düşük yayılım değeri Şekil 3'te yer alan Y³⁺ katkılandırılmış CeO₂ numunesinde elde edilmiştir.



Şekil 2. Gd+3 Katkılandırılmış CeO2 Numunesinin FT-IR Sonucu



Şekil 3. Y+3 Katkılandırılmış CeO2 Numunesinin FT-IR Sonucu



Şekil 4. Sm+3 Katkılandırılmış CeO2 Numunesinin FT-IR Sonucu

D.Proje Ekibinin Kazanımları ve TUSAŞ'a Olası Katkısı

Proje ile birlikte ekip üyeleri IR düşük görünürlük teknolojisinin temel gereklilikleri ve IR düşük yayılım malzemeleri konusunda tecrübe kazanmıştır. Projenin başarılı bir şekilde sonuçlanması durumunda proje sonuçları ve çıktıları, TUSAŞ bünyesinde bulunan platformlara uygulanacak IR boya üretiminde pigment olarak kullanılabilir ve IR düşük görünürlük için alternatif kaynak (pigment) geliştirilmiş olacaktır. Bu sayede, mevcut ve potansiyel platformlar için stratejik öneme sahip olan IR düşük görünürlük malzeme temininde dışa bağımlılık ortadan kaldırılacaktır. Proje kapsamında elde edilen bulgular ile aynı konuda yapılacak çalışmalara temel altyapı sağlanmış olacaktır.

E.Öneriler, Alınan Dersler ve Gelecekteki Çalışmalar

Çalışma sonucunda düşük yayılım değeri gösteren pigment geliştirilmesi durumunda, platform üzerine uygulanabilmesi için bir bağlayıcı içinde dağıtılarak boya formuna getirilebilir. Boya haline getirilen karışım öngörülen platform üzerine uygulanabilir. Malzeme boya formuna getirilip platform substrat malzemesine boya mimarisi gereklerine göre uygulandıktan sonra sistem gereklerince simüle edilip performans testleri yapılabilir. Bu şekilde, üretilen tozun, boya bileşenleri ve substrat malzemesi ile etkileşimi görülebilir. Bu çalışma ile düşük görünürlük teknolojisi kapsamında, kızılötesi yayılım konusunda temel bilgiler edinilmiş, konunun önemi anlaşılmıştır. Bunun yanında kızılötesi düşük görünürlük malzemeleri incelenmiştir. Proje sonrasında yapılacak olan çalışmalarda bağlayıcı seçimine ve boyanın uygulanma yöntemlerine ilişkin araştırmalar yapılacaktır. Elde edilen sonuçlar neticesinde boya üretilerek öngörülen platform üzerine uygulanacaktır.



Termoplastik Kompozit Malzemelerin Uçak Yapısallarda Kullanımının Araştırılması

Yıldırım Beyazıt Üniversitesi

Makine Mühendisliği

Akademik Danışman

Prof. Dr. Fahrettin ÖZTÜRK

Sanayi Danışmanı

Deniz ÖZEL

Lisans Öğrencileri

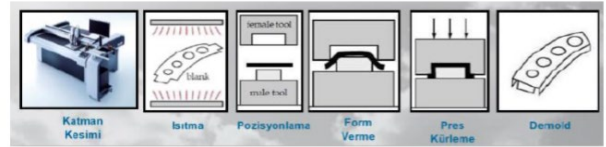
Yasemin Sümeyye YILDIRIMOĞLU, Esma Nur DURAN

Seda ERSÖZ

A.Problem Tanımı

Termoplastikler tüm dünyada son zamanlarda üzerinde yoğun çalışmaların yürütüldüğü malzemelerdir. Bu malzemeler, ısı ile şekil verilebilme özellikleri sayesinde tamamen yeni, hızlı ve otomize süreçlere olanak sağlayarak havacılık dünyası için zaman içinde geleceğin malzemeleri konumuna gelmiştir. Bu proje kapsamında, havacılıkta kullanılan termoplastik kompozit malzeme tipleri, bu malzemelerin uçak yapısında hangi parçalar için kullanıldığı, üretim ve kaynak teknolojileri konularında araştırma yapıp; örnek parça üretimi gerçekleştirilerek, test edilmesi amaçlanmaktadır.

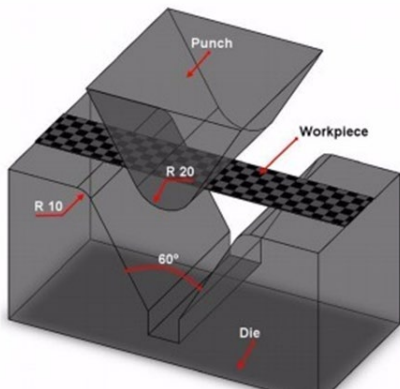
Termoforming yöntemi şematik olarak Şekil 2'de gösterilmiştir. Bunun için 200mmx40 mm boyutlarında üretilen konsolide plaka 380°C civarında ısıtılarak dişi ve erkek parçalardan oluşan V kalıpta basılmıştır. Şekillendirme işlemi V kalıbın bir parçası olan erkek kalıp radyusu kompozit malzemeye temas edince başlamış olup parçanın bükme kolları kalıp yüzeyine teğet hale gelince tamamlanmıştır. Bu sayede erkek kalıp çıkarıldıktan sonra nihai ürün üzerinde burkulma, geri yaylanma, kırışma vb. kusurların olup olmadığı gözlemlenmiştir.



Şekil 2. Termoforming yöntemi şematik gösterimi

B.Gerçekleştirilen Araştırma Faaliyetleri ve Uygulanan Yöntem

Termoforming yöntemi ile parça üretimi için öncelikle tasarım/analiz çalışması gerçekleştirilmiş, simetri-balans gereksinimleri göz önünde bulundurularak toplam kalınlık 2 mm olacak şekilde bir serim belirlenmiştir. Bu serim uygulanarak karbon elyaf takviyeli tek yönlü şerit PEEK malzeme (kürlenmiş kat kalınlığı 0.138 mm) ile otoklavda düz bir plaka üretilip; ardından konsolide olmuş bu plaka, daha önce tasarlanıp üretilen V kalıp (Bkz. Şekil 1) kullanılarak termoforming yöntemi ile şekillendirme işlemi tamamlanmıştır.



Şekil 1. 60 Derece Açılı V Şekilli

C.Araştırma Sonuçları ve Çıktılar

Günümüzde dayanım ve geri dönüştürülebilme özelliklerinden dolayı yaygın şekilde kullanılan elyaf takviyeli termoplastik kompozit malzemelerden cam elyaf takviyeli polipropilen (PP) ve karbon elyaf takviyeli polietereeterketonun (PEEK) en uygun proses değişkenleri, forming işleminin yanı sıra mekanik ve fizikokimyasal testler ile belirlenmiştir. Konsolide olmuş plakadan alınan test numuneleri su jeti ile standartlara uygun olarak kesilmiştir.

Termoplastik kompozit malzemelerin mekanik özellikleri; çekme, üç nokta eğme ve basma testleri 50 kN yük kapasiteli INSTRON Eksenel Servohidrolik Dinamik Test cihazında 23±1 °C oda sıcaklığında ve %50±10 bağıl nem koşullarında yapılmıştır. Her bir test 7 numunede tekrarlanmıştır. Çekme testi EN 2561 standardına uygun olacak şekilde tab'siz,



çenelerden 41 bar sıkılarak, 2 mm/dk ilerleme hızı ile gerçekleştirilmiştir. Ayrıca 41 bar altına düşüldüğünde numunelerin çenelerden sıyrıldığı gözlemlenmiştir. Yükleme ilerledikçe x-eksenine dikey konumda olan cam kumaşlar çatlak ilerleme, çatlak ucu açılma miktarına ve matris ayrılmasına bağlı olarak kopmuştur. Numunedeki kopma, belirlenen deney ölçüm boyu aralığında gerçekleştirildiği için testler başarılı olmuştur. Basma testi ASTM 3410, 3 nokta eğme testi EN 2562 standartlarına uygun şekilde 7 numunede tekrarlanmıştır.

Mekanik testlere ek olarak gerçekleştirilen fizikokimyasal testlerden DSC, DMA ve FVC yapılmıştır. Bu testlerden (Diferansiyel Taramalı Kalorimetri) DSC N613, Dinamik Mekanik Analiz (DMA) D4065 ve Fiber Boşluk Oranı (FVC) EN 2564 standartlarına uygun şekilde tamamlanmıştır. Kompozit ve saf matris elemanının ısı özelliklerindeki değişimleri (Erime sıcaklığı, camı geçiş sıcaklığı, entalpi ve % kristallik değerleri) anlayabilmek amacıyla Diferansiyel Taramalı Kalorimetri analizleri, viskoelastik davranışı ölçmek için kullanılan yöntemlerden biri olan Dinamik Mekanik Analiz (DMA) tekniği gerçekleştirilmiştir. Bu testler sonucunda bu malzemeler için kristallenme derecesi %40'a göre değerlendirilirken, elde edilen veriler neticesinde kristallenme derecesinde daha düşük bir değer gözlemlenmiştir. Bu değerdeki düşüşün nedeni konsolide plaka üretiminde kullanılan prepreglerin deneme üretimine ait olmasından kaynaklıdır.

Sonuçlar literatürdeki çalışmalarla karşılaştırıldığında, önerilen yöntemle TP kompozitlerin mevcut üretim yöntemlerine göre daha iyi mekanik özellikler, daha kısa üretim süresi, geri dönüştürülebilirlik ve kaynaklanabilirlik özelliğinden dolayı daha kolay birleştirilebilir gibi avantajlar sağlandığı tespit edilmiştir.

D.Proje Ekibinin Kazanımları ve TUSAŞ'a Olası Katkısı

Proje kapsamında termoplastik kompozitlerin hava aracı yapılarında kullanım alanları araştırılacak; termoplastik malzeme ile bir demo parçası üretilerek fizikokimyasal ve mekanik testleri yapılacaktır. Bu çalışma ile termoforming yöntemi ile üretilen parçada malzeme davranışları incelenecek; termoplastik kompozitlerin hava platformlarında kullanım avantajları ortaya konulacaktır.

TUSAŞ bünyesinde termoset matrisli kompozitler RTM (reçine geçişli kalıplama), otoklav, elle yatırarak serme, kalıplama gibi geleneksel yöntemler ile kullanılmaktadır. Termoset malzemeler -18 °C'de soğuk depolarda muhafaza edilmekte; 12-18 ay sonunda ömrü dolan malzemeler kullanılamamaktadır. Bu da malzeme maliyetlerini arttırmaktadır. Termoset malzemeler ile bir parçanın elle serimi ortalama

7-8 saat sürebilmekte, otoklavda döngüsü de yine 7-8 saat sürmektedir. İşçilik maliyetleri termoset malzeme ile bir parçanın üretimi için 5600 TL olarak hesaplanmaktadır. Diğer taraftan, termoplastik malzemeler ömürsüz olmaları ile malzeme maliyeti açısından avantaj sağlamakta birlikte, özellikle termoforming gibi yöntemler ile 5-6 dakika içinde bir parçanın üretilmesi mümkündür. Bu durumda işçilik maliyeti 175 TL civarında hesaplanmaktadır. İşçilik maliyetleri ve üretim süreleri bakımından çok büyük avantajlar sağlanabilmektedir.

TUSAŞ kendi özgün ürünlerini tasarlayan, üreten ve lojistik destek sağlayan, ülkemizin önde gelen havacılık şirketi olmasının yanı sıra; aynı zamanda Airbus, Boeing, Leonardo Aerospace gibi şirketlerin ürünlerini de tasarlayıp üreten bir firmadır. Bu şirketler ile uzun vadede çalışabilmesi için hızla gelişen teknolojiyi yakalaması hatta üretmesi gerekmektedir. Bu bakımdan termoplastik malzeme ve proses teknolojilerinin önemi büyüktür.

Proje kapsamında çalışılacak olan termoforming kabiliyetinin kazanılması hem TUSAŞ özgün ürünleri açısından avantaj sağlayacak, hem de şirketi rekabetçi konuma getirecektir.

D.Proje Ekibinin Kazanımları ve TUSAŞ'a Olası Katkısı

Uzun zamandır hafif malzemelerin kullanımının istendiği havacılık sektöründe kompozit malzemeler metallerin yerini almaktadır. Örneğin; ticari bir uçak kütesinin yaklaşık olarak yarım kilogram azaltılması yılda 1500 litreye kadar yakıt tasarrufu sağlamaktadır. Bir ticari uçağın yakıt masrafının toplam çalışma maliyetinin ortalama %25'i olduğu düşünülürse bu oran oldukça önemlidir.

Günümüzde termoset malzemelerden yapılan uçak parçalarının montajı işlemi bağlayıcılarla sağlanmaktadır. Kullanılan mekanik bağlayıcılar kompozit parçanın ağırlığını attırmaktadır. Ancak termoplastik kompozit malzemenin kaynaklanabilir olması, bağlayıcı ihtiyacını ortadan kaldırmış olup; ağırlığında azalmasına olanak sağlamaktadır. Kompozit dünyasında araştırılan bir konu olan "Termoplastiklerin Kaynaklanması" ile ilgili yapılacak araştırmalar ve çalışmalar, gelişen teknolojiyle termoplastikleri önümüzdeki dönemlerde tercih edilir hale getirecektir.



Transonik Hızda Çok Elemanlı Kesit En İyileştirmesi

Bursa Uludağ Üniversitesi

Makine Mühendisliği

Akademik Danışman

Prof. Dr. İrfan KARAGÖZ

Sanayi Danışmanı

Erdem AYAN, Sercan ERTEM

Lisans Öğrencileri

Murat SEZGİN

Mustafa KURAY

Büşra TURAL

Barış VATANSEVER

A.Problem Tanımı

Ana kanat ve firar kenarı kanatçık kesitinden oluşan iki elemanlı NACA 64A307 kanatlarda, içinde hem ses altı hem de ses üstü rejimin bulunduğu transonik hızlarda şok dalgasının oluşturduğu basınç dağılımlarından kaynaklanan yüksek kanatçık menteşe momentinin, kesitin aerodinamik performansı da dikkate alınarak, şekli en iyileştirilerek azaltılması hedeflenmektedir.

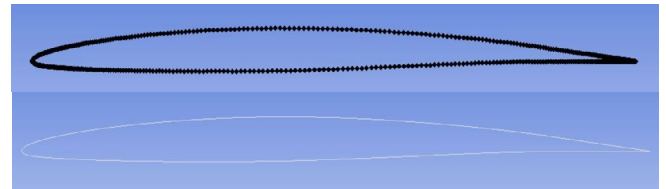
Ek Bilgiler: Kanatçık kesitin %80'inden itibaren başlamaktadır. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) analizleri 0.80-0.9-0.95 Mach hızlarında gerçekleştirilmiştir. Hücüm Açıları her bir hız için 0°, -3° ve 5° alınmıştır. Kanatçık bükümleri 2° ve 5°'dir.

#Group	Point	X_cord	Y_cord	Z_cord		
1	1	1,0000000000000000	-0,0000005353940651	0,0000000000000000		
1	2	0,9992890133621550	0,0001037219377913	0,0000000000000000		
1	3	0,9985573376841470	0,0002110108453170	0,0000000000000000		
1	4	0,9978044025464930	0,0003214148174735	0,0000000000000000		
1	5	0,9970296237121730	0,0004350193633669	0,0000000000000000		
1	6	0,9962324029090710	0,0005519120442348	0,0000000000000000		
1	7	0,9954121276167550	0,0006721825048445	0,0000000000000000		
1	8	0,9945681708582610	0,0007959225042102	0,0000000000000000		
1	9	0,9936998909975770	0,0009232259455319	0,0000000000000000		
1	10	0,9928066315435970	0,0010541889052536	0,0000000000000000		
1	490	0,9900257576296510	-0,0000295264836957	0,0000000000000000		
1	491	0,9918727483760570	-0,0000264866774773	0,0000000000000000		
1	492	0,9927933531281070	-0,0000235345639713	0,0000000000000000		
1	493	0,9936882598852350	-0,0000206677577160	0,0000000000000000		
1	494	0,9945581413947490	-0,0000178839259013	0,0000000000000000		
1	495	0,9954036553329440	-0,0000151807882661	0,0000000000000000		
1	496	0,9962254444943140	-0,0000125561168858	0,0000000000000000		
1	497	0,9970241369880120	-0,0000100077358637	0,0000000000000000		
1	498	0,9978003464407690	-0,000007535209335	0,0000000000000000		
1	499	0,9985546722055270	-0,0000051313989859	0,0000000000000000		
1	500	0,9992876995750710	-0,0000027993475250	0,0000000000000000		

B.Gerçekleştirilen araştırma Faaliyetleri ve Uygulanan Yöntem

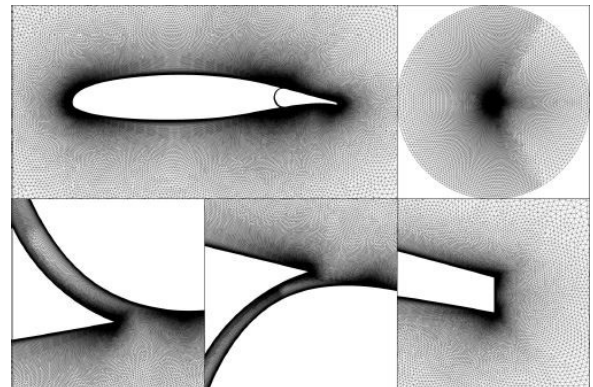
Proje konusu olan transonik hızda çok elemanlı kesit en iyileştirilmesi ile ilgili yazılı kaynak olarak dünya literatüründe yayınlanmış makale, dergi ve kitap taraması yapılmıştır. Literatür tarama için üniversitenin online kaynakları, NASA kaynakları, Altair University kaynakları ve Google Scholar çokça kullanılmıştır.

İlk aşamada JavaFoil programı kullanılarak NACA 64A307 kanat profili kesiti koordinatları elde edilmiştir. Ancak analiz için yeterli olmaması sebebi ile sonrasında OpenVSP programı kullanılmıştır ve analizde kullanılan koordinatlar bu program üzerinden alınmıştır. Bu kesit koordinatları Excel dosyasında gerekli işlemler yapılarak Şekil 1'de görüldüğü gibi son hale getirilip temsili olarak ilk ve son noktalarının koordinatları verilmiştir.



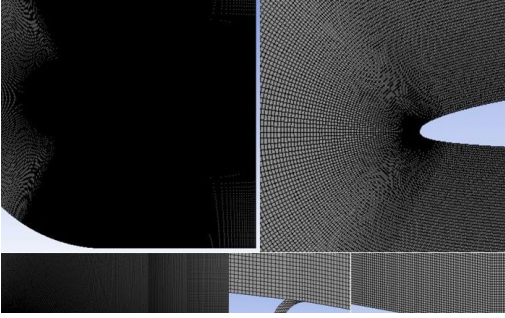
Şekil 1. NACA 64A307 Kanat Profili

Flaplı bir kanat profili çalışmasında daha önce yapılan çalışmalardan faydalanarak ağ yapısının önemi kavranmış olup bunun üzerine örnek ağ yapıları incelenmiştir.



Şekil 2. Örnek Ağ Yapısı [GA(W)-1]

“Control Surfaces Hinge Moment Prediction Using Computational Fluid Dynamics” adlı çalışmada flaplı bir GA(W)-1 kanat profilinin üzerinde oluşturulan yapısal olmayan bir ağ yapısı Şekil 2’de görülmektedir. Bu çalışma dikkate alınarak oluşturulan ağ yapısının hücum kenarında, fırar kenarında ve flap ve kanat arasında diğer bölgelere oranla daha sık olması gerektiği düşüncesi kavranmıştır. Bu ağ yapısı dikkate alınarak ideal ağ yapısı kavramını göz önünde bulundurulması ve daha hızlı çözüm açısından yapısal mesh kullanılması şartı ile ele alınan kanat profili etrafında ağ oluşturulmuştur (Bkz. Şekil 3).

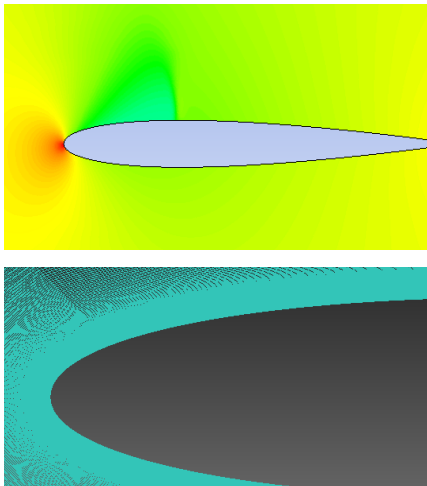


Şekil 3. Projede Uygulanan Ağ Yapısı

C.Araştırma Sonuçları ve Çıktılar

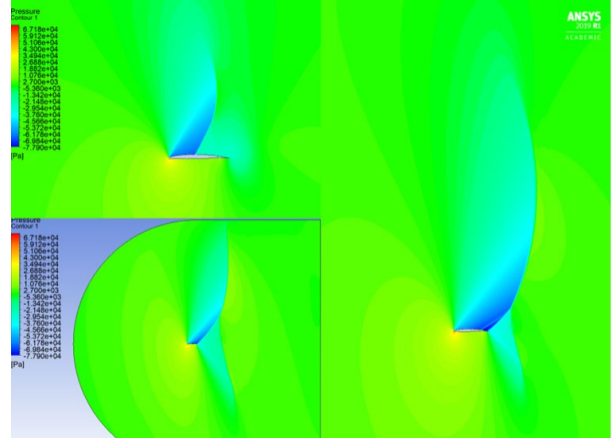
Proje konusu olan transonik hızda çok elemanlı kesit en iyileştirilmesi ile ilgili yazılı kaynak olarak dünya literatüründe yayınlanmış makale, dergi ve kitap taraması yapılmıştır. Literatür tarama için üniversitenin online kaynakları, NASA kaynakları, Altair University kaynakları ve Google Scholar çokça kullanılmıştır.

İlk aşamada JavaFoil programı kullanılarak NACA 64A307 kanat profili kesiti koordinatları elde edilmiştir. Ancak analiz için yeterli olmaması sebebi ile sonrasında OpenVSP programı kullanılmıştır ve analizde kullanılan koordinatlar bu program üzerinden alınmıştır. Bu kesit koordinatları Excel dosyasında gerekli işlemler yapılarak Şekil 1’de görüldüğü gibi son hale getirilip temsili olarak ilk ve son noktalarının koordinatları verilmiştir.

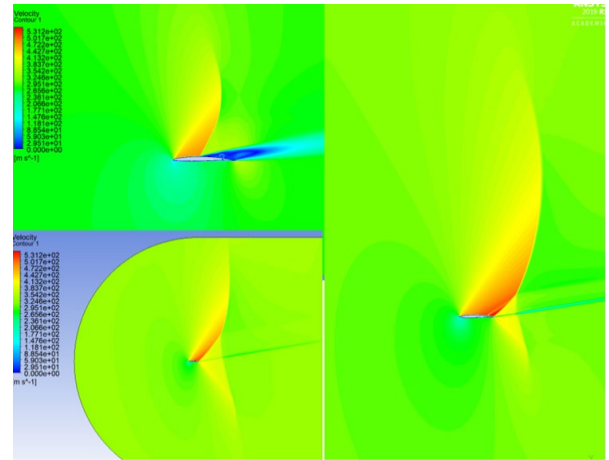


Şekil 4. NACA 0012 ile Yapılan Analiz Sonuçları

Öncelikle literatürde deneysel değerleri mevcut olan NACA 0012 kanat profili kullanılarak bir doğrulama ve test çalışması yapılmıştır. Bu doğrulama çalışmasında ağ yapısı özellikler, ağ yapısından bağımsızlık, çözüm yöntemleri ve algoritmaların uygunluğu ve bu tür akışlar için uygun türbülans modellerin belirlenmesi üzerinde çalışılmıştır (Bkz. Şekil 4). Bu modele ait literatür değerleri $c_d=0.0081$ ve $c_l=0.241$ ’dir. Burada yapılan doğrulama çalışmasında $c_d=0.0081$ ve $c_l=0.276$ değerleri hesaplanmıştır. Çalışmada k-w ve Spalart-Almaras türbülans modelleri kullanılmıştır.



a



b

Şekil 5. İki Derecelik Flap Bükümünde Elde Edilen a. Basınç ve b. Hız Dağılımları. $M=0.8$ (Sol Üst) $M=0.9$ (Sağ) ve $M=0.95$ (Sol Alt)

Sonrasında NACA 64A307 için meshten bağımsızlık çalışması yapılarak her durum için analizler gerçekleştirilip sonuçlar incelenmiştir. Şekil 5’te örnek olarak 2 derecelik flap bükümünde meydana gelen şok dalgalarının basınç ve hız renklendirmesi gösterilmiştir.

D.Proje Ekibinin Kazanımları ve TUSAŞ'a Olası Katkısı

Proje ekibi olarak kazanımlar aşağıda sıralanmıştır:

- Literatür çalışmaları ile transonik rejim, kanat profilleri ve aerodinamik yapıları hakkında fikir sahibi olma,
- OpenVSP ara yüzünün tanınması ve kanat profili koordinatlarının elde edilmesi,
- 2D kanat profili modelleme ve yapısal bir ağ yapısının oluşturulması,
- 2D flaplı kanat profili kesitinin oluşturulması,
- Ağ yapısı için yardımcı program olarak ICEM CFD'nin tanınması,
- Sonlu hacimler metodunu ve türbülans modellerinin tanınması,
- ANSYS Fluent 18.1 ara yüzünün tanınması ve program yetkinliklerinin kazanılması ve
- Farklı türbülans modelleri ile CFD analizlerin gerçekleştirilmesi.

TUSAŞ'a olası katkısı aşağıda sıralanmıştır:

- Konuya nispeten vakıf potansiyel mühendis adayların yetişmesi ve
- NACA 64A307 profiline ait alternatif bir analiz ve kesit en iyileştirmesi çalışması.

E.Öneriler, Alınan Dersler ve Gelecekteki Çalışmalar

Proje kapsamında alınan dersler, literatür ve uygulama kısmında ayrılacak süreler için zaman yönetiminin doğru gerçekleştirilmesi, karşılaşılabilecek sorunlar konusunda eylem planlarının oluşturulması ve böyle bir durumda sorunu en kısa zamanda çözebilmek adına görev dağılımlarının uygun şekilde önceden ayarlanması, görüşmelerin daha aktif şekilde yapılması ve bu sayede oluşabilecek bir hatanın kısa sürede fark edilip önüne geçilmesi olarak özetlenebilir. Ayrıca bir HAD analizinde dikkat edilmesi gereken noktalar, karşılaşılan problemler ve çözüm yolları konularında deneyim kazanılmıştır.

Çalışmanın devamı niteliğinde transonik hızda 3 boyutlu kanat için bir optimizasyon çalışması gerçekleştirilip şok dalgalarının etkilerini azaltıcı yönde bir tasarımın gerçekleştirilmesi konusunda çalışma yapılabilir. Son tasarımın farklı çalışma şartlarındaki davranışları analiz edilebileceği değerlendirilmiştir.

Proje kapsamında ilgili kanat profili için bir prototip çalışması yapıp transonik rüzgar tüneli testlerine tabii tutulması ve çıkarılan sonuçların karşılaştırılması mümkündür. Ayrıca benzer bir çalışma yüksek Mach sayılarında gerçekleştirilebilir.



TUSAŞ Section 19 Montaj Hattı Kapasite Planlama ve Dengeleme Projesi

TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi

Endüstri Mühendisliği

Akademik Danışman

Doç. Dr. Kadir ERTOĞRAL

Sanayi Danışmanı

Ecem CEPHE, Gizem DALCAN

Lisans Öğrencileri

Kardelen DEVECİ, Bilge Dilay GÜZEL, Ekin ŞERİFOĞLU

İrem Nur TÜRKMEN, Tuğçe YILDIZ

A.Problem Tanımı

AIRBUS A320 Section 19 montaj hattında üretilen shell ve barrel adlı ürünlerin talebi önümüzdeki senelerde artış gösterecektir. Mevcut sistemde planlanan üretim hedeflerini karşılamada darboğazlar yaşanacağı için Kurumsal Kaynak Planlama Departmanı'nın kapasite ve işçi planlaması yapması gerekmektedir. Önceki yapılan çalışmalara göre darboğazlar, barrel montajının yapıldığı iş istasyonlarında daha sık gerçekleşmektedir. Artan talebe mevcut kaynakların yetersiz kalacağı tespit edilmiştir.

Talep miktarını karşılayabilmek için mevcut shell ve barrel montaj hatlarındaki darboğazların belirlenmesi ve analiz edilmesi gerekmektedir. Problemin çözümü için iş akış planının analiz edilmesi, elde edilen modele göre işgücü planının yapılması ve gerekli montaj tezgâhlarının alımı için bir plan oluşturulması hedeflenmektedir. Bu doğrultuda talebi karşılama kısıtı altında koji ve işçi sayısı en küçüklenecektir.

B.Gerçekleştirilen Araştırma Faaliyetleri ve Uygulanan Yöntem

Probleme matematiksel model ve simülasyon modeli üzerinden yaklaşmıştır. Proje kapsamında simülasyon modeli kullanılmasının birincil nedeni mevcutta montaj hattında oluşan dar boğazları belirlemek, otomatik perçin makinelerinin ve kojilerin kullanım oranlarını hesaplamaktır. Ayrıca simülasyon modeli matematiksel modelde ortaya çıkan sonuçların değerlendirilmesi ve performans analizi için kullanılmıştır. Problemden matematiksel model kullanılarak kaynak planlanmasının en büyük avantajı en uygun sayıda işçi sayısına ve tezgâh sayısına karar vermesidir. Diğer avantajlar ise, kaynakları birleştirmesi, talep değişkenliğine yanıt verebilmesi ve işgücü büyüklüğünün değiştirilmesine olanak sağlamasıdır.

Matematiksel modelde parametre olarak kullanılacak veriler, geçmiş yılın üretim miktarları ve işçilerin bu üretimler için ne kadar zaman harcadığı verilerinden oluşmaktadır. Matematiksel modelde ana modelin yanı sıra alternatif senaryolar da incelenmiştir. Üç farklı senaryo olup her birinin iki vardiya ve üç vardiya durumu incelenmiştir. Bu senaryolar; ana model, öğrenme etkili model, öğrenme etkili ve şans kısıtlı modellerdir.

Oluşturulan senaryolardan biri, ana modele öğrenme etkisinin eklenmesiyle oluşturulmuş modeldir. Bu senaryoda amaç, öğrenme etkisinin aşamalara ve zamana göre değişimini incelemektir. Bir işi bitirmek için gerekli süre deterministik alınmıştır ve stokastikliği modellemek için ana modele şans kısıtı (İng. chance constraint) eklenerek yeni bir model oluşturulmuştur. İşçilerin ürünleri üretmek için harcadığı zamanın, ürünleri üretmek için harcanan zamandan büyük olması olasılığının yüzde 99'dan büyük olması kısıtı matematiksel modele eklenmiştir.

Proje kapsamında sistemi incelemek amacıyla Arena programında simülasyon modeli oluşturulmuştur. Model oluşturulurken öğrenme etkisi göz önüne alınmıştır. Mevcut sistem modelinde kuyruklar, kaynak kullanım oranları, çıktı miktarları, girdilerin sistemde kalma süreleri gibi sonuçlar analiz edilmiş, istenilen sonuçları karşılayabilecek değişiklikleri bulabilmek amacıyla model Optquest ile çalıştırılmıştır. Bu kapsamda beklenen talebi yetiştirmeye yönelik yapılması gereken değişiklikler belirlenmiştir. Ayrıca talebin beklenmeyen bir sebepten dolayı %10 artması senaryosu için de ayrı bir model oluşturulup incelenmiş ve bu durumda da talebin yetişmesi için yapılması gerekenler belirlenmiştir.

Doğrulama geçerleme analizleri firma tarafından elde edilen 2018 talep verileri üzerinden gerçekleştirilmiştir. Doğrulama geçerleme analizleri 2018 yılı için talebin gözlemlenen tezgâh sayıları ile karşılanıp karşılanamayacağı incelenmiştir. Matematiksel modelin çıktılarına göre modelin doğru bir şekilde çalıştığı sonuçlarla kanıtlanmıştır. Tablo 1'de doğrulama geçerleme işlemi için tezgâh sayısı çıktıları yer almaktadır.

Aşama isimleri	Adet
Manuel Koji Operasyonları1	6.00
Otomatik Perçin Tezgahları1	2.00
Manuel Koji Operasyonları2	6.00
Yatay Koji Operasyonları	2.00
Otomatik Perçin Tezgahları2	1.00
Dikey Koji Operasyonları	4.00
Barrel Birleştirme Operasyonları	3.00

Tablo 1. Aşamalara göre tezgah sayıları adedi

Arena kullanarak oluşturulan simülasyon modeli için de doğrulama ve geçerleme analizleri yapılmıştır. Analizler için shell ve barrel adlı parçaların simülasyon modelindeki sistemde kalma süreleri gerçek verilerden elde edilen değerlerle karşılaştırılmıştır. Tablo 2'de shell ve barrel adlı parçaların sistemde kalma süreleri yer almaktadır:

	Shellerin Ortalama Sistemde Kalma Süresi (Gün)	Barrellerin Ortalama Sistemde Kalma Süresi (Gün)
$\bar{Y} + t_{\alpha/2, n-1} S/\sqrt{N}$	27.2	53.12
$\bar{Y} - t_{\alpha/2, n-1} S/\sqrt{N}$	26.39	50.15
Real system value	26.5	52.4
Worst case error	0.7	2.25
Best case error	0.11	0.72

Tablo 2. Shell ve Barrel'ler İçin Ortalama Sistemde Kalma Süreleri

Cplex OPL kullanılarak çözdürülen koji, işçi sayılarını ve envanteri en küçükleyen amaç fonksiyonu edinen iki vardiyalı ana modelin çıktıları Tablo 3'te görülmektedir:

Tablo 3. Ana Model Çıktıları

Aşama İsimleri	Koji Sayısı	İşçi Sayısı
----------------	-------------	-------------

Tablo 4. Öğrenme Etkili Model Çıktıları

Manuel Koji 1	6	20
Otomatik Perçin 1	3	9
Manuel Koji 2	6	18
Yatay Koji	3	11
Otomatik Perçin 2	2	6
Dikey Koji	4	23
Barrel Birleştirme	5	30

Bu modelin sonuçları ana modelin sonuçlarıyla karşılaştırıldığında, koji sayılarının yatay koji haricinde aynı geldiği, işçi sayılarının ise öğrenme etkisine bağlı olarak düştüğü görülmektedir. Aşamalarda çalışan işçiler zaman geçtikçe görevlerini daha hızlı tamamladıkları için sahada daha az işçiye gereksinim vardır ve çıktılar beklenildiği şekilde gelmiştir. Öğrenme etkisinin ve şans kısıtının birlikte alınarak oluşturulduğu iki vardiyalı alternatif modelin çıktıları Tablo 5'te görülmektedir:

Tablo 5. Öğrenme Etkili ve Şans Kısıtlı Model Çıktıları

Aşama İsimleri	Koji Sayısı	İşçi Sayısı	Envanter Miktarı
Manuel Koji 1	6	16	296
Otomatik Perçin 1	3	9	2050
Manuel Koji 2	6	15	266
Yatay Koji	2	10	124
Otomatik Perçin 2	2	6	838
Dikey Koji	4	23	36
Barrel Birleştirme	5	30	594

Bu modelin koji ve işçi sayısı, sadece öğrenme etkisinin incelendiği alternatifle dikey koji ve barrel birleştirme operasyonları haricinde aynı çıkmıştır.

Simülasyon Modeli Çıktıları

Firmanın temel amacı 3 yıllık talebi karşılayabilmektir. 10 tekrara göre 2018 yılından başlatılarak çalıştırılan modelde talebin yetiştirilebilmesi için 4 yılın sonunda 1060 shell, 759 barrel montajı tamamlanmalıdır. Senaryolarda bu çıktıların minimum değişikliklerle sağlanma gereksinimleri bulunmuştur

Senaryo 1

Matematiksel modelden bulunan sonuca göre fabrika iki vardiya çalıştığında bir adet CP3, bir adet CP5, iki adet Mate Kojisi alınması gerektiği bulunmuştur. Simülasyon modelinde bu artırımlar modellenmiş, bunlara ek olarak Lower Mid Out of Kojinin vardiya artırımının da gerektiği gözlenmiştir. Kuyruklar incelenerek bu durumun sebebi araştırıldığında, 6 farklı parçanın kojilerde farklı sürelerde işlem görmesinden ve bu yüzden sonraki birleşme işlemlerinde eşlerini bekletmesinden kaynaklandığı gözlenmiştir.

Bu kaynakların hangi aylarda alınması gerektiğini bulmak amacıyla değişkenler oluşturulmuştur. Bu değişkenler yardımıyla, Arena'nın Optquest aracında fırsat maliyetini en aza indirmek amacıyla en geç hangi aylarda gerekli değişikliklerin yapılabileceği bulunmuştur. Bu sonuçlara göre CP3 2019 yılının ağustos ayında, CP5 2020 yılının kasım ayında, bir Mate kojisi 2021 yılının mayıs ayında diğeri ise aynı yılın ağustos ayında alınmalıdır. Lower Mid Out of Koji'nin vardiya artırımı ise 2020 yılının nisan ayında olmalıdır.

Senaryo 2

Matematiksel modelde fabrika 3 vardiya çalıştığında, birer adet CP3, CP5 ve Mate Kojisi alınması gerektiği bulunmuştur. Bu sonuçlara göre CP3 2020 yılının şubat ayında, CP5 2021 yılının mayıs ayında, Mate kojisi 2021 yılının ekim ayında alınmalıdır.

Senaryo 3

Benzer şekilde %10 düzeyinde shell ve barrel talebinde bir artış olması senaryosu incelenmiş, bu durumda 3 yılın sonunda talebin yetiştirilmesi için yapılması gereken değişiklikler bulunmuştur. Bu duruma göre CP3'ün 2020 yılının mart ayında, CP5'in 2020 yılının nisan ayında ve Mate Kojisinin 2021 yılının ağustos ayında alınması gerektiği, ayrıca Lower Mid Out of Kojisinin vardiyasının 2019 yılının aralık ayında ve Upper Arm Koji'nin vardiyasının 2021 yılının ocak ayında arttırılması gerektiği tespit edilmiştir.

Firmanın elinde yeni alıp kullanmaya başlamadığı bir adet Mate Kojisi vardır. Senaryolar denenirken bu kojiye modelde yer verilmemiştir. Ayrıca kullanılmayan bir Lower Mid Out of Koji de bulunmaktadır. Lower Mid Out of Koji'nin vardiyasının arttırımı yerine diğer ek kojinin kullanıma başlanması durumu için de senaryolar incelenmiş ve bu durumda da firmanın gelen talepleri karşılayabileceği görülmüştür.

D.Proje Ekibinin Kazanımları ve TUSAŞ'a Olası Katkısı

Projenin amacı, sistemdeki toplam montaj tezgâhı (kolu) ve işçi sayısını talebi karşılama kısıtı ile birlikte en küçükmektir. Oluşan darboğazları çözmek ve talebi karşılayabilmek adına aşamalardaki tezgâh, işçi ve vardiya artırımının miktar ve alım zamanına karar verilmelidir. Firma kazanımları aşağıda belirtildiği gibidir:

- Simülasyon modeli ile Airbus A320 Section 19 montaj hattının darboğazlarının belirlenmesi ve kaynak kullanım oranlarının incelenmesi,
- Optimum sonuçların simülasyon modelinde uygulanması sonucu gerekli aşamalarda vardiya artırımının analizi,
- Kaynak artırım önerilerinin yıl ve ay bazında analizi,
- Yapılacak simülasyon modeli ile matematiksel modelde bulunan çözümlerin test edilmesi ve performans ölçütleri açısından mevcut sistem ile karşılaştırılması ve
- Alternatiflerin simüle edilmesi ile talebi karşılama oranlarının analizi.

Buna bağlı olarak, oluşturulan bütün senaryo alternatifleri, talebi karşılama kısıtını başarıyla geçmiştir. Firmayla paylaşılacak alternatifler arasından seçim kararı firmaya bırakılmıştır. Farklı ay ve yıllarda kaynakların eklenmesi opsiyonuna göre eklenecek kaynak sayıları farklılık gösterebilmektedir.

E.Öneriler, Alınan Dersler ve Gelecekteki Çalışmalar

- Proje kapsamında, talebi yetiştirebilmek amacıyla en geç hangi aylarda makine ve işçi alımlarının yapılması gerektiği bulunarak kapasite planının iyileştirilmesi yapılmıştır. Bu iyileştirme önerileri raporda detaylı bir şekilde açıklanmıştır.
- Projeyi belli bir çalışma planı içerisinde gerçekleştirmek hem ekip içinde hem de ekip dışındaki kişilerle hızlı ve şeffaf bir iletişim sağlamak, gerekli noktalarda çalışmayı basit, ancak öz bir bakış açısıyla gerçekleştirmek, mevcut sistemi olabildiğince detaylı gözlemleyerek doğru varsayımları bulmanın önemini anlamak alınan derslerden bazılarıdır.
- Projenin tesliminden sonra, bitirme projesinin akademik bir makaleye dönüştürme çalışmaları akademik danışman ile yürütülmektedir.
- Firmanın ve departmanın istekleri doğrultusunda ileri çalışmalar yapılacaktır.



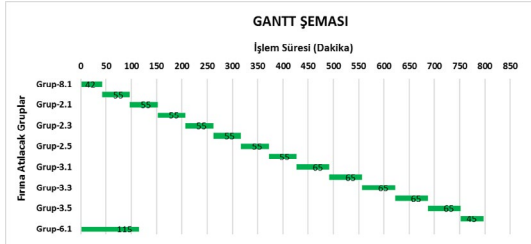
GRUPLAR	ÇİZELGE KODLARI	HER ÇİZELGE KODU İÇİN QUANTITY	İŞLEM ZAMANI	NET TEK TİP SÜRE	TEK TİP SICAKLIK
Grup-8	Grup-8.1	795	19	42	466°C
Grup-5	Grup-5.1	992	32	55	493°C
Grup-2	Grup-2.1	1362	32	55	495°C
Grup-2	Grup-2.2	1347	32	55	495°C
Grup-2	Grup-2.3	1372	32	55	495°C
Grup-2	Grup-2.4	1379	32	55	495°C
Grup-2	Grup-2.5	1373	32	55	495°C
Grup-2	Grup-2.6	570	32	55	495°C
Grup-3	Grup-3.1	1322	42	65	495°C
Grup-3	Grup-3.2	1328	42	65	495°C
Grup-3	Grup-3.3	1329	42	65	495°C
Grup-3	Grup-3.4	1329	42	65	495°C
Grup-3	Grup-3.5	1329	42	65	495°C
Grup-1	Grup-1.1	456	22	45	495°C
Grup-6	Grup-6.1	48	92	115	490°C VE İLAVE 60 MINS

Şekil 3. Fırına Atılacak Gruplar

Task Name	Start Time	Completion Time	LATENESS TIME	TARDINESS TIME
Grup-8.1	0	42	-26	0
Grup-5.1	42	55	-15	0
Grup-2.1	97	55	-5	0
Grup-2.2	152	55	-5	0
Grup-2.3	207	55	-5	0
Grup-2.4	262	55	-5	0
Grup-2.5	317	55	-5	0
Grup-2.6	372	55	-5	0
Grup-3.1	427	65	0	0
Grup-3.2	492	65	0	0
Grup-3.3	557	65	0	0
Grup-3.4	622	65	0	0
Grup-3.5	687	65	0	0
Grup-1.1	752	45	6	6
Grup-6.1	0	115	9	9

Şekil 4. Fırında Kalma Süreleri

Rapor sonucunda sıralı olarak fırına atılacak gruplar için 1 gün için toplam zaman 870 dakika alınarak Şekil 5'teki Gantt Şeması oluşturulmuştur. Gantt Şeması üzerinde hangi grubun hangi süreler arasında ne kadar fırında kalacağı görülmektedir.



Şekil 5. Gantt Şeması

D.Proje Ekibinin Kazanımları ve TUSAŞ'a Olası Katkısı

Ekip olarak yapılan literatür araştırmaları sonucunda ilgilenilen problemin kısıtlarını kapsayan bir çalışmanın daha önceden yapılmadığı gözlemlenmiştir. Bundan dolayı mevcut durum kısıtlarını dikkate alacak bir algoritma tasarlanarak probleme çözüm önerisi getirilmiş ve uygulanmıştır. Bu tür karmaşık problemlerin çözümüne nasıl bir yaklaşım izlenilmesi gerektiği öğrenilmiştir.

Yapılan bu çalışma sonucunda; büyük ve gerçek verilerin analiz edilmesi, mevcut duruma göre algoritmaların geliştirilmesi ve bu algoritmaların MS Visio'da akış diyagramlarının çizilmesi, geliştirilen algoritmalar ile birden çok başarımlı ölçütü baz alınarak Visual Basic ile kodlanması öğrenilmiştir.

Çalışmanın alanda uygulamaya koyulmasından sonra TUSAŞ'a olası katkıları aşağıdaki şekilde olacaktır:

- Parçaların manuel olarak iş emirlerine bakılarak gruplandırılmasında boşa geçen zaman önlenmiş olacaktır.

- Fırına sadece acil olan parçalar atılarak sonraki istasyonlardaki dar boğazları engelleyecektir.

- Atılan acil parçaların önceki istasyon da baz alınarak fırının maksimum kapasite ile çalıştırılması sağlanacaktır. Bu sayede acil parçaların düzensiz gelme durumu azalacaktır.

- Alandan elde edilen bilgiler neticesinde oluşturulan akış diyagramlarının alana verilmesi, işe yeni başlayan çalışanların öğrenme sürelerini kısaltacaktır.

E.Öneriler, Alınan Dersler ve Gelecekteki Çalışmalar

Yapılan çalışma sonucunda fark edilen durumlar şunlardır:

- Pareto Analizi doğrultusunda önceki 4 adet istasyonun akışı yoğunluklu olarak 551 fırını izlemektedir.

- Fırından çıkan parçaların Pareto Analizi sonucunda 6 farklı istasyonu takip ettiği gözlenmiştir. Bu takip eden istasyonlar emek yoğun istasyonlardır ve bundan dolayı fırına atılan her fazla parça için bu istasyonlarda dar boğaz oluşturmaktadır.

Bu iki gözlem sonucunda 551 sonrası istasyonlardaki işgücü kapasitesinin baz alınarak 551 öncesi 4 istasyon için, yapılan çizelgelemenin gelecekte yapılması istenen tüm çizelgeye uyarlanması gerekmektedir.

551 öncesi 4 istasyonda parçalar için oluşturulan gruplar aynıdır. İlk istasyon olan Kesim Tezgâhından parçalar, gruplanmış olarak diğer istasyonlara gönderilebilir. Ek olarak, bu parçalar oluşturulan gruplama algoritmasına göre sac arabalarına yüklenebilecektir. Bu da her istasyondaki parça arama süresini ortadan kaldıracaktır.

Bu projede fırın kapasitesi belli bir varsayım çerçevesinde alınmıştır. Parçaların bağlanarak fırına atılması için kullanılan aparatın ve her bir parçanın en, boy ve yükseklik değerlerine göre hacim hesabı yapılarak kapasitenin en optimal şekilde belirlenmesi sağlanmalıdır. Her bir parçanın düzgün bir geometrik şekle sahip olmaması bu hususta ayrı bir projenin yapılması gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Bazı parçaların kalınlık değerleri olmadığından dolayı bu parçalar, bu projede çizelgeleme oluşturulurken dikkate alınmamıştır. Daha doğru çalışması istenen bir çizelgeleme için Excel'de bir arayüz oluşturularak Order No ve kalınlık değerlerinin çalışanlar tarafından ölçümleri yapıldıktan sonra sisteme girilmesi sağlanıp eksik veriler toplanmalıdır.

Uçak Pistinde Gezen Robotla Yabancı Madde Tespiti

Ankara Üniversitesi
Bilgisayar Mühendisliği
Akademik Danışman
Dr. Hacer YALIM KELEŞ
Sanayi Danışmanı
Murat KARADERİLİ
Lisans Öğrencileri
Ayşenur KAYIŞ

A.Problem Tanımı

Uçak pistinde yer alan, uçağa zarar verme potansiyeli olan ve uçuş alanına ya da uçağa ait olmayan her cisim yabancı madde olarak anılmaktadır. Daha öncesinde tespit edilmiş yabancı maddenin ortadan kaldırılması ve temiz zemin elde edilmesi için yapılan temizleme araçları bulunmaktadır. TUSAŞ firmasının, uçuş alanındaki yabancı maddelerin otonom bir sistem üzerinden tespiti konusunda hâli hazırda kullandığı herhangi bir teknolojik çözüm bulunmamaktadır. Proje, Türk Havacılık ve Uzay Sanayii'nin uçuş alanı ve taksi yolundaki yabancı madde tespiti yapma ihtiyacını giderme için geliştirdiği çözümün optimizasyonunun sağlanması amacıyla ortaya çıkmıştır. Uçuş alanı ve taksi yolundaki yabancı maddeler alana ve uçağa ait olmayan cisimlerdir. Bu cisimlerin alanda bulunması yüksek maliyetlerle üretilmiş uçak, helikopter gibi araçlara maddi hasar verme potansiyeline sahiptir. İngiliz Fransız ortak ürünü olan Concorde, yolcu uçağı olarak hazırlanmış hava taşıtı kazası ve üretiminin durdurulması sebebi uçuş hattındaki metal bir yabancı maddenin, uçağın yakıt tankına çarpası sonucudur. Bu denli büyük hasarlara ve maliyetlere neden olan kazaların önüne geçilmesi için yabancı madde tespiti ve yabancı maddenin ortadan kaldırılmasının büyük önem taşıdığı görülmektedir. Savunma Sanayii'mizin uçak üreticisi olan TUSAŞ'ın yabancı madde tespiti problemi uçuş alanı ve taksi yolu için olduğundan tüm uçuş hattı olan alanlar için ortak bir problem olduğu tespit edilmiştir. Bu ihtiyaca binaen, tamamen yerli ve son dönemde imge tanıma ve sınıflandırmada yüksek performans gösteren derin öğrenme tabanlı farklı yaklaşımlarla bu problemin çözümü Ar-Ge niteliğindedir.

B.Gerçekleştirilen Araştırma Faaliyetleri ve Uygulanan Yöntem

Projenin ne olduğu, nasıl olacağı kararlaştırılmadan önce yapılan rakip pazar analizinde ve yapılan araştırmalar sonucunda yurt içinde bir firmanın ve yurt dışında birkaç firmanın bu alanda yaptığı çalışmalar görülmektedir. Bu çalışmalar hakkında bilgi sahibi olunmuş ve incelemeler yapılmıştır. Sonrasında proje için toplanılması gereken

veriler belirlenmiş ve üzerinde yabancı madde bulunmayan temiz zemin ve üzerinde pist alanına ait olmayan yabancı maddelerin bulunduğu kirli zemin fotoğrafları toplanılmıştır. Temiz ve kirli zemin örnekleri sırasıyla Şekil 1 ve Şekil 2'de görülmektedir.



Şekil 1. Temiz Zemin Örnekleri



Şekil 2. Kirli Zemin Örnekleri



Toplanan veriler, yapay sinir ağında, model eğitimi için python dilinde yazılan script'te çalıştırılarak 256 * 256 pixel boyutlarına indirilerek küçük boyutlarda görseller elde edilmiştir. Scripten geçirildikten sonra edinilen imgeler Şekil 3'te gösterilmiştir.

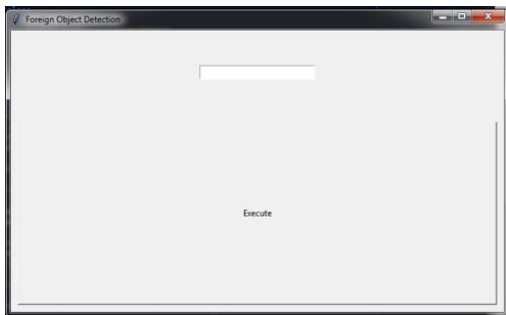


Şekil 3. Script Sonrası İmgeler

Derin öğrenme yapay sinir ağlarını kullanarak geliştirilmiş bir otomatik kodlayıcı (İng. autoencoder) ağı kullanımasına karar verilmiştir. Pist alanında hareket eden bir robotun topladığı görsellerle model çalıştırılacağı için çeşitlendirilmiş, üzerinde bozulmalar yapılmış imgeler ile modelin eğitilmesi gerekmiş ve daha doğru sonuçlara ulaşılabilmesi için veri kümesinin çoğaltılması amacıyla script yazılmıştır. İmgeler bu scriptte çalıştırılarak üzerinde bozulmalar sağlanmıştır. Büyük boyutlarda toplanan 25 temiz zemin, 25 kirli zemin imgeleri, python dilinde yazılan scriptler sayesinde 7700 temiz zemin, 3000 kirli zemin imgesi olarak çoğaltılarak veri seti tamamlanmıştır.

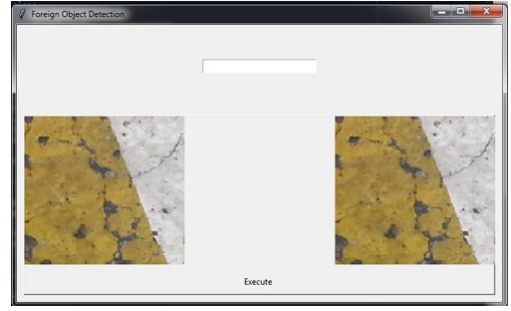
C.Araştırma Sonuçları ve Çıktılar

Robotun aldığı görselin gösterileceği ve kullanıcının takibini kolaylaştırmak amacıyla Şekil 6'daki ara yüz kodu yazılmıştır.

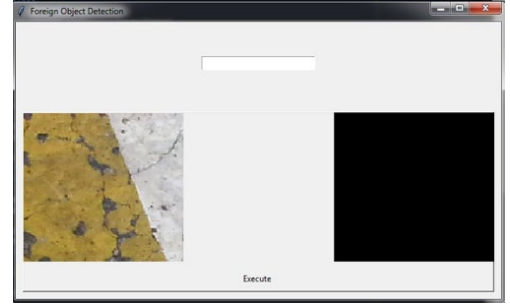


Şekil 6. Ara Yüz Kodu

Sağ tarafta imgenin modelden geçirildikten sonra üzerinde yabancı madde bulunmayan alanların siyaha boyanması, yabancı maddelerin olduğu alanların beyaza boyanması beklenmektedir. Modelde çalıştırılan imgede yabancı madde bulunmadığından eklenen ara yüz görüntüsü Şekil 8'deki gibidir.



Şekil 7. Ara Yüz Çıktısı-1



Şekil 8. Ara Yüz Çıktısı-2

D.Proje Ekibinin Kazanımları ve TUSAŞ'a Olası Katkısı

Proje sayesinde derin öğrenme (İng. deep learning) konusunda araştırmalar yapılmış ve bu alanda bilgiler edinilmiş, elde edilen bilgiler ışığında yapay sinir ağları araştırılmış ve bu alanda çalışma fırsatı bulunmuştur. Çok geniş bir çalışma alanı olduğu fark edilen derin öğrenme konusunda artan merak ile alana ilgi duyulmuştur. Nesne yönelimli, yorumlamalı ve etkileşimli yüksek seviyeli bir programlama dili olan Python öğrenilmiştir. Python'da arayüz yazılabilmesi için ara yüzü destekleyen Tkinter kütüphanesi öğrenilmiş ve ara yüz yazılmıştır. Derin öğrenme için yazılmış, imgeler üzerinde çalışmayı kolaylaştıran Keras, Tensorflow kütüphaneleri öğrenilmiştir. Keras'ta önceden eğitilmiş (pre-trained) modeller araştırılmıştır. Otomatik kodlayıcı (autoencoder) ağ tasarımı araştırılarak, çalışma prensibi öğrenilmiştir. Alınan robotla birlikte fiziksel programlama platformunu yakından görme ve ilgilenme şansı elde edilmiştir. Projenin devam ettirilmesi için gerçekleştirilen toplantılar sayesinde, fikrini ortaya koyma, plan tanımlamasının yapılarak ortaya koyulması ve iş akışı takip etme yetisi geliştirilmiştir.

Savunma sanayimizin uzay ve havacılık projelerinin üreticisi olan TUSAŞ'ın Akıncı Tesisleri bünyesindeki uçuş hattı ve taksi yolundaki yabancı madde tespiti için araştırılan, geliştirilen projenin kullanılması ile birlikte, projenin ileriki dönemlerde devam ettirilerek, gerekli izinlerin sağlanması ve yazılımın yeterli donanıma entegre edilmesiyle TUSAŞ uçuş hattında yabancı madde raporlanması ve temizlenmesinde insan gücünün azaltılarak yapılan işin hızlandırılması ve otomatikleştirilerek hata payının en aza indirilmesi konusunda kazanç sağlayacağı öngörülmüştür.



E.Öneriler, Alınan Dersler ve Gelecekteki Çalışmalar

Proje sayesinde derin öğrenme (İng. deep learning) konusunda araştırmalar yapılmış ve bu alanda bilgiler edinilmiş, elde edinilen bilgiler ışığında yapay sinir ağları araştırılmış ve bu alanda çalışma fırsatı bulunmuştur. Çok geniş bir çalışma alanı olduğu fark edilen derin öğrenme konusunda artan merak ile alana ilgi duyulmuştur. Nesne yönelimli, yorumlamalı ve etkileşimli yüksek seviyeli bir programlama dili olan Python öğrenilmiştir. Python'da arayüz yazılabilmesi için ara yüzü destekleyen Tkinter kütüphanesi öğrenilmiş ve ara yüz yazılmıştır. Derin öğrenme için yazılmış, imgeler üzerinde çalışmayı kolaylaştıran Keras, Tensorflow kütüphaneleri öğrenilmiştir. Keras'ta önceden eğitilmiş (pre-trained) modeller araştırılmıştır. Otomatik kodlayıcı (autoencoder) ağ tasarımı araştırılarak, çalışma prensibi öğrenilmiştir. Alınan robotla birlikte fiziksel programlama platformunu yakından görme ve ilgilenme şansı elde edilmiştir. Projenin devam ettirilmesi için gerçekleştirilen toplantılar sayesinde, fikrini ortaya koyma, plan tanımlamasının yapılarak ortaya koyulması ve iş akışı takip etme yetisi geliştirilmiştir.

Savunma sanayimizin uzay ve havacılık projelerinin üreticisi olan TUSAŞ'ın Akıncı Tesisleri bünyesindeki uçuş hattı ve taksit yolundaki yabancı madde tespiti için araştırılan, geliştirilen projenin kullanılması ile birlikte, projenin ileriki dönemlerde devam ettirilerek, gerekli izinlerin sağlanması ve yazılımın yeterli donanımına entegre edilmesiyle TUSAŞ uçuş hattında yabancı madde raporlanması ve temizlenmesinde insan gücünün azaltılarak yapılan işin hızlandırılması ve otomatikleştirilerek hata payının en aza indirilmesi konusunda kazanç sağlayacağı öngörülmüştür.



KARİYER

 [tusaskariyer](#)

 [Tusaskariyer](#)

KURUMSAL

 [tusas_tr](#)

 [turkishaerospace](#)

 [turkishaerospace](#)

 [channel/turkishaerospace](#)

 [company/turkishaerospace](#)

TUSAŞ - Türk Havacılık ve Uzay Sanayii A.Ş.
Fethiye Mh. Havacılık Blv. No:17
06980 Kahramankazan-Ankara/TURKEY
T +90 (312) 8111800 F +90 (312) 8111425
WWW.tai.com.tr

**TÜRKHAVACILIK
UZAYSANAYII**

